



УДК 556.5+519.22

© 2012

Л. А. Ковальчук

Оценка экстремальных расходов воды, согласно законам их статистических распределений на примере р. Десна в районе Чернигова

(Представлено членом-корреспондентом НАН Украины В. И. Осадчим)

Установлено, что нормативно предписываемое трехпараметрическое гамма-распределение непригодно для оценок экстремальных расходов воды. Теоретически обоснована и разработана методика оценивания экстремальных расходов при помощи симметричного трехпараметрического экспоненциального распределения. Рекомендовано: из ежедневных значений расходов воды в половодье за период наблюдений (при оценивании экстремальных расходов) исключить соответствующие ежедневные среднемноголетние значения расходов; полученные ежедневные аномалии расходов воды исследовать на наличие модальностей; выявив диапазон экстремальных статистически однородных значений аномалий расходов воды, идентифицировать закон их статистического распределения; определив значение аномалии расходов воды нормативной обеспеченности, суммировать его с максимальным значением годового хода соответствующей обеспеченности.

Состояние изученности проблемы. Строительство гидротехнических сооружений, разрушение которых приводит к катастрофическим последствиям, основано на пропуске максимального расхода воды однопроцентной обеспеченности с учетом гарантийной поправки. Оценки обеспеченности расходов осуществляются посредством трехпараметрического гамма-распределения [1–3], которое, по сути, не пригодно для анализа экстремальных расходов: оно не предполагает исключение детерминированной составляющей — годового хода, в результате чего оценки коэффициентов изменчивости (C_v) и асимметрии (C_s) зависят не только от случайной, но и от детерминированной составляющей.

Цель работы автора настоящего сообщения — дать теоретическое обоснование и разработать методику оценивания расходов воды нормативной обеспеченности посредством симметричного экспоненциального распределения.

Материал наблюдений и методика исследований. В качестве экспериментальных данных использованы ежедневные значения расходов воды р. Десна в районе Чернигова за

период с 1900 г. по 2006 г., имеющиеся в распоряжении Гидрометеорологической службы Украины.

Методическая часть исследования включала пять этапов.

На первом — из результатов наблюдений расходов воды была исключена детерминированная составляющая — годовой ход: из ежедневных значений расходов воды в половодье вычтены среднемноголетние значения расходов соответствующего дня, т. е. получены ежедневные аномалии расходов (Δx) за период половодья.

На втором — произведен анализ ежедневных аномалий расходов воды (Δx) в половодье: построены гистограммы и полигоны частот, кривые их обеспеченности, т. е. получены эмпирические плотности вероятностей и эмпирические функции распределений ежедневных аномалий расходов по их характерным диапазонам.

На третьем — идентифицированы законы статистических распределений ежедневных аномалий расходов воды за период половодья посредством модели симметричных экспоненциальных распределений [4]:

$$p(x, t) = \frac{\alpha}{2\lambda\sigma\Gamma(1/\alpha)} \exp\left(-\left|\frac{x-m}{\lambda\sigma}\right|^\alpha\right). \quad (1)$$

Здесь $\lambda = \sqrt{\Gamma(1/\alpha)/\Gamma(3/\alpha)}$, $\Gamma(z)$ — гамма-функция ($\Gamma(z) = \int_0^\infty e^{-t}t^{z-1} dt$ при $\operatorname{Re} z > 0$); $\sigma = \sigma(t)$ — стандартное отклонение; $m = m(t)$ — центр распределения; $\alpha = \alpha(t)$ — некоторая характеристика распределения, однозначно определяющая параметр формы экспоненциальных распределений — эксцесс (ε):

$$\varepsilon = \frac{\Gamma(1/\alpha)\Gamma(5/\alpha)}{(\Gamma(3/\alpha))^2}. \quad (2)$$

Если $\alpha < 1$, то модель (1) описывает распределения, близкие по своим свойствам к распределению Коши; $\alpha = 1$ — модель представляет распределение Лапласа, имеющее более островершинный вид, чем у нормального распределения; $\alpha = 2$ — модель соответствует нормальному распределению; $\alpha > 2$ — модель идентифицирует распределения, близкие по своим свойствам к трапецидальным распределениям; $\alpha \rightarrow \infty$ — модель отражает равномерное распределение.

На четвертом этапе посредством функции симметричного экспоненциального распределения произведено скользящее оценивание аномалий расходов половодья однопроцентной обеспеченности для каждого года 17-летнего периода (1990–2006 гг.), используя 90-летнюю предысторию. Полученные значения суммировались с верхней границей 99%-го доверительного интервала максимального ежедневного значения годового хода, в результате чего были получены расходы однопроцентной обеспеченности.

На пятом — произведен сравнительный анализ скользящих оценок расходов однопроцентной обеспеченности для каждого года 17-летнего периода (1990–2006 гг.), полученных как по модели симметричного экспоненциального распределения, так и рассчитанных по модели трехпараметрического гамма-распределения, согласно методике Рыбкина (1947) и нормативной методике Крицкого, Менкеля (1950).

Результаты исследования и их обсуждение. Весной на р. Десна в районе Чернигова ежедневные расходы начинают увеличиваться в марте, достигают своего максимума к середине апреля и опускаются до обычных значений в июне (рис. 1).

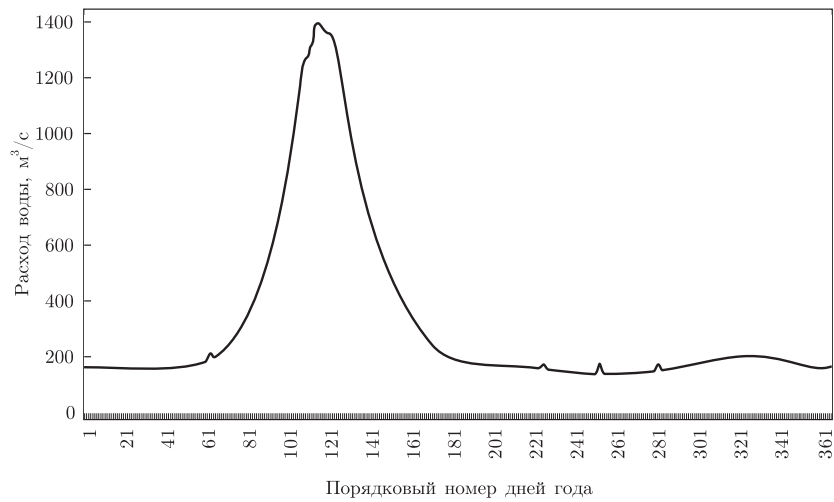


Рис. 1. Ежедневные среднемноголетние расходы воды р. Десна в районе Чернигова

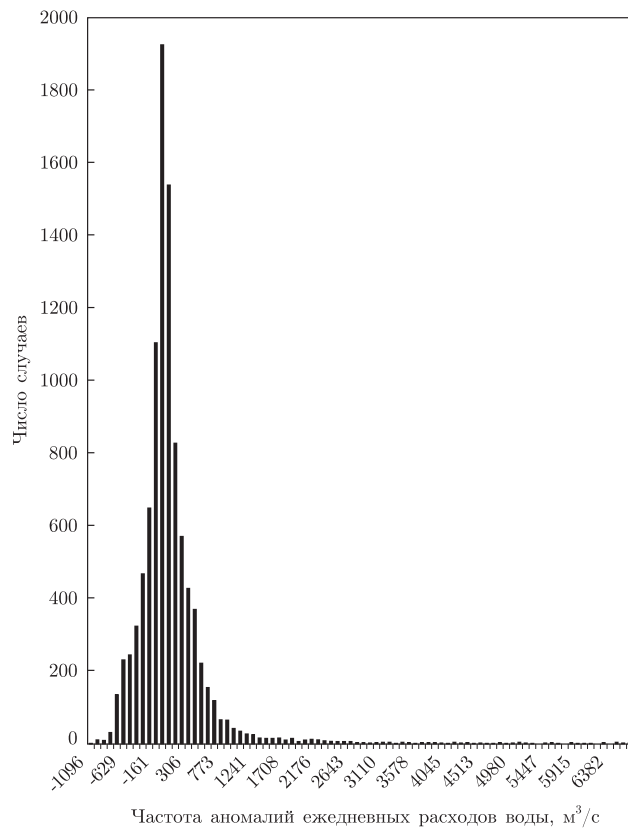


Рис. 2. Гистограмма частот аномалий ежедневных расходов воды за период половодья Десны в районе Чернигова

Распределение частот аномалий ежедневных расходов воды за период половодья имеет значительную левую асимметрию (рис. 2), более того, оказалось, что распределению частот свойственна еще и трехмодальность. Максимальная частота аномалий расходов воды — 2494 была достигнута в диапазоне от $-1096 \text{ м}^3/\text{с}$ до $924 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 3, а); второй пик частоты

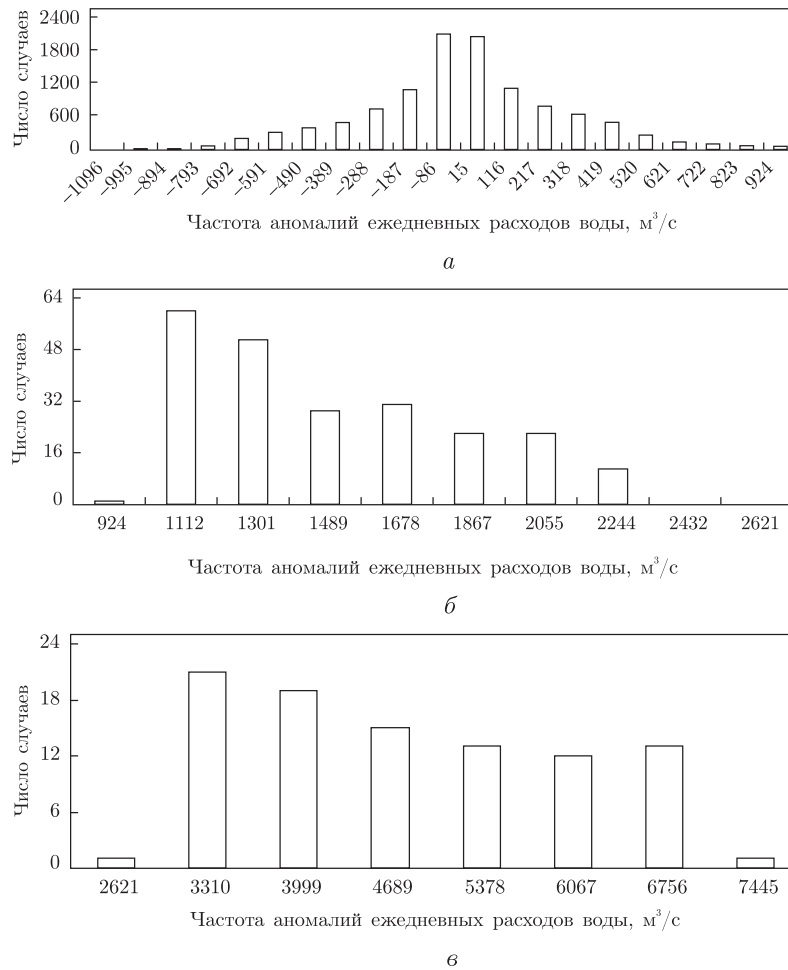


Рис. 3. Гистограмма частот аномалий ежедневных расходов воды за период половодья Десны в районе Чернигова по диапазонам: от -1096 до 924 м³/с (а); от 924 до 2621 м³/с (б); от 2621 до 7445 м³/с (в)

аномалий расходов — 60 был выявлен в диапазоне от 924 м³/с до 2621 м³/с (см. б на рис. 3); третий пик — 21 обнаружен в диапазоне от 2621 м³/с до 7445 м³/с (см. в на рис. 3).

Именно в диапазоне аномалий расходов воды от 2621 м³/с до 7445 м³/с посредством аналитической модели (1) был идентифицирован закон статистического распределения аномалий расходов воды. Примечательно, что в диапазоне экстремальных значений аномалий с обеспеченностью менее 1% функция распределения, полученная, согласно модели (1), совпадает с экспериментальной функцией распределения (рис. 4, а). С помощью идентифицированной функции распределения было определено значение аномалии расходов воды однопроцентной обеспеченности, которое суммировалось с максимальным значением годового хода 99%-й достоверности, что давало значение расхода воды однопроцентной обеспеченности.

Сравнение скользящих оценок расходов однопроцентной обеспеченности для каждого года 17-летнего периода (1990–2006 гг.), рассчитанных посредством модели (1) и модели трехпараметрического гамма-распределения, показало, что оценки, полученные по модели (1), вообще говоря, устойчивы, тогда как оценки по методикам Рыбкина и Крицкого, Менкеля имеют значительные колебания (см. б на рис. 4).

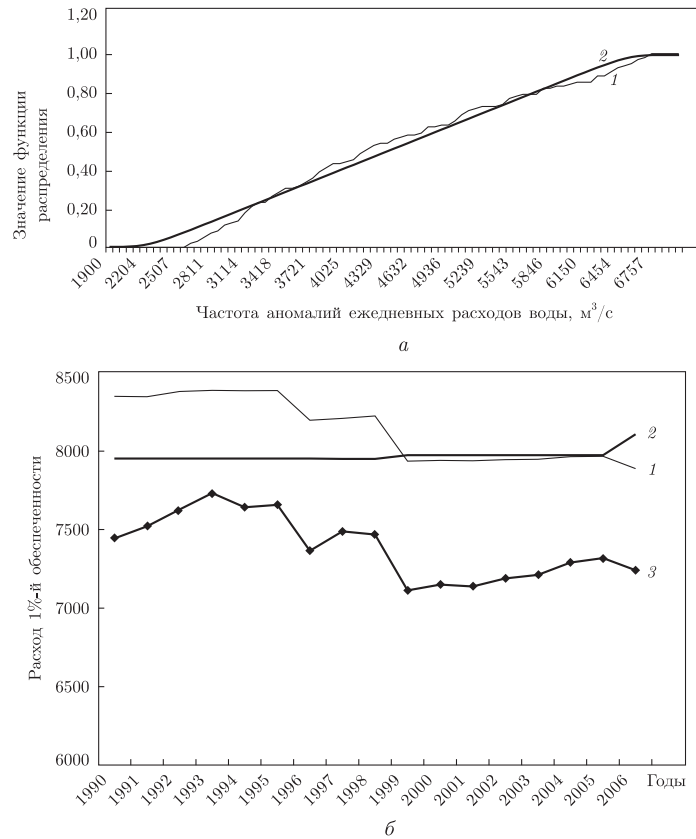


Рис. 4. Результаты вероятностно-статистического анализа: *а* — функция распределения аномалий ежедневных расходов воды за период половодья: экспериментальная (1) и симметричная экспоненциальная модель (2); *б* — оценки расходов однопроцентной обеспеченности для периода 1990–2006 гг. р. Десна в районе Чернигова: по Рыбкину (1); по симметричной экспоненциальной модели (2); по Крицкому, Менкелю (3)

Особое объяснение необходимо дать увеличению расходов воды однопроцентной обеспеченности от $7973 \text{ м}^3/\text{с}$ до $8107 \text{ м}^3/\text{с}$ с 2005 г. по 2006 г., вычисленных посредством модели (1). Суть в том, что на предыстории 1916–2006 гг. изменилась статистическая структура ряда относительно предыстории 1900–2005 гг.: трапецидальный закон статистического распределения аномалий сменился на равномерный закон статистического распределения аномалий расходов воды. На предыстории 1900–1998 гг. эксцесс (1,890–1,887) и параметр формы распределения (16,893–17,495) не претерпевали существенных изменений. На предыстории 1909–2005 гг. эксцесс уменьшился до 1,825, а параметр формы распределения возрос до 59,286, что обострило трапецидальную форму закона распределения. И, наконец, на предыстории 1916–2006 гг. эксцесс опустился до своего предельного значения 1,810, а параметр формы распределения увеличился до 144,853, что определило равномерный закон статистического распределения аномалий расходов воды.

Обращает на себя внимание значительная разница в оценках расходов воды однопроцентной обеспеченности, согласно методике Рыбкина и нормативной методике Крицкого, Менкеля. Средняя оценка расходов однопроцентной обеспеченности по Рыбкину составила — $8141 \text{ м}^3/\text{с}$, тогда как по Крицкому, Менкелю — $7388 \text{ м}^3/\text{с}$. Причина столь существенных различий оценок расходов кроется в теоретических предпосылках методики Рыбкина, а также методики Крицкого, Менкеля.

Таким образом, при вероятностно-статистическом оценивании экстремальных расходов воды, следуя аксиомам теории вероятностей, необходимо исключать из наблюдаемых значений расходов воды детерминированную составляющую — годовой ход.

Рекомендовано оценивание экстремальных расходов воды выполнять посредством симметричного трехпараметрического экспоненциального распределения.

1. *Картвелишвили Н. А.* Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулировании речного стока. — Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. — 290 с.
2. *Соколовский Д. Л.* Речной сток (основы теории и методики расчетов). — Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. — 538 с.
3. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* — Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. — 447 с.
4. *Новицкий П. В., Зограф И. А.* Оценка погрешностей результатов измерений. — Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. — 248 с.

*Украинский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт
НАН Украины и МЧС Украины, Киев*

Поступило в редакцию 16.08.2011

Л. А. Ковальчук

Оцінка екстремальних витрат води, згідно з законами їх статистичних розподілів на прикладі р. Десна в районі Чернігова

Встановлено, що нормативно приписуваний трипараметричний гамма-розподіл, непридатний для оцінок екстремальних витрат води. Теоретично обґрунтовано та розроблено методику оцінювання екстремальних витрат за допомогою симетричного трипараметричного експоненціального розподілу. Рекомендовано: із щоденних значень витрат води в повінь за період спостережень (при оцінюванні екстремальних витрат) виключити відповідні щоденні середньобогаторічні значення витрат; отримані щоденні аномалії витрат води досліджувати на наявність модальностей; виявивши діапазон екстремальних статистично однорідних значень аномалій витрат води, ідентифікувати закон їх статистичного розподілу; встановивши значення аномалій витрат води нормативної забезпеченості, підсумувати його з максимальним значенням річного ходу відповідної забезпеченості.

L. A. Kovalchuk

Estimation of extreme discharges of water by the laws of their statistical distributions by the example of the Desna river near the town of Chernihiv

It is shown that the three-parameter gamma-distribution written in norms is not suitable for the estimations of extreme discharges of water. The theory ground is given. A methodology of evaluation of extreme discharges with the help of a symmetric three-parameter exponential distribution is developed. It is recommended: at the evaluation of extreme discharges of water, to subtract the corresponding daily mean long-term values of discharges from the daily values of discharges of water in the spring flood; daily anomalies of discharges of water should be tested for the presence of modality; to identify a law of statistical distribution of the extreme homogeneous values of anomalous discharges of water; by determining the value of anomalous discharge of water with normative supply, to sum it with the maximal value of the annual course of discharges with appropriate supply.