

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕК МЕЖДУРЕЧЬЯ ДНЕСТР-ПРУТ

Проведена статистическая обработка рядов максимальных расходов воды для рек бассейна междуречья Днестр-Прут.

Ключевые слова: статистические методы, максимальные расходы

Введение. Общеизвестно, что вследствие многообразия и сложных взаимодействий, непрерывно изменяющихся во времени и пространстве, гидрологические явления имеют, как правило, вероятностно-стохастический характер. В этой связи изучение и выявление фундаментальных закономерностей, свойственных широкому кругу гидрологических явлений, формирующихся вследствие сложных, нелинейных многофакторных связей, оказывается эффективным с использованием как статистических (вероятностно-стохастических), так и современных динамических методов методов (см. напр., [1-6]). Разумеется, применение статистических методов в гидрологических исследованиях имеет определенные особенности, обусловленные специфичностью искомых явлений. [1]. В последние годы широкое применение получили также специфические вероятностно-стохастические и мультифрактальные модели анализа [2-7]. С точки зрения полноты и физической корректности описания гидрологических систем указанный класс методов в определенных аспектах уступает классическим динамическим методам, базирующимся на использовании уравнений типа Сен-Венана либо полной системы уравнений Навье-Стокса. Однако, статистические подходы позволяют относительно просто (с вычислительной точки зрения) и быстро получить крайне ценную информацию о пространственно-временном распределении фундаментальных гидрологических характеристик. Характеризуя статистические методы обработки, следует отметить ряд особенностей. Первая из них заключается в том, что в распоряжении имеется ограниченная информация, которая обычно не может быть существенно увеличена. В связи с этим особую важность приобретают вопросы приведения коротких гидрологических рядов и их статистических параметров к длительному периоду, экстраполяции различных кривых распределения за пределы данных измерений. Вторая особенность состоит в том, что ряды измерений речного стока нередко могут оказаться, неоднородными как во времени, так и в пространстве. Это значительно сужает возможности и осложняет статистическое описание совокупностей гидрологических величин. Чаще всего нарушение однородности рядов стоковых характеристик связано с хозяйственной деятельностью на водосборе. Третья особенность применения статистических методов в гидрологии связано с наличием внутрирядной связанности, которая нарушает принцип случайности, в результате чего объём независимой информации, заключенной в том или ином гидрологическом ряду, уменьшается. Целью данной статьи является статистический анализ рядов максимальных расходов воды для рек бассейна междуречья Днестр-Прут.

Метод. Рассмотрим 3-параметрическое гамма-распределение. Данная кривая представляет общий случай распределения, описывающего стоковые ряды при любых соотношениях C_s к C_v [1,3]. Такое свойство трёхпараметрического гамма распределения исключает область отрицательных значений при экстраполяции эмпирических кривых обеспеченности в нижней части. Отмеченная универсальность достигается за счет замены признака распределения X с помощью введения новой переменной Z

$$Z = b \cdot x^c, \quad (1)$$

где b и c - параметры функции. При $C_s=2C_v$ кривые Пирсона третьего типа и трёхпараметрического распределения совпадают, причем новый закон называется гамма распределением и описывается уравнением вида

$$F(z) = \alpha^\alpha z^{\alpha-1} e^{-\alpha z} / \Gamma(\alpha), \quad (2)$$

где α - параметр, $\Gamma(\alpha)$ - гамма-функция

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} z^{\alpha-1} e^{-z} / dz \quad (3)$$

Различия выражений (2) и (3) при $C_s = 2C_v$ объясняются только тем, что при выводе уравнения (2) отсчет ведется не от модального значения, а от начала кривой распределения, т.е. при этом признак распределения всегда находится в области положительных значений. [1,3]. Если C_s отличается от $2C_v$, то (2) преобразуется в уравнение трёхпараметрического гамма распределения

$$f(z) = \beta^\alpha z^{\alpha-1} e^{-\beta z} / \Gamma(\alpha) \quad (4)$$

Параметры β и α связаны с параметрами C_s и C_v следующими соотношениями:

$$\alpha = 4 / C_v^2, \quad \beta = 2 / (C_s C_v). \quad (5)$$

При $\alpha = \beta$, что соответствует $C_s = 2C_v$, уравнение (5) сводится к (2)

Биномиальное распределение Пирсона 3 типа. Если начало отсчёта совместить с модой, то её уравнение запишется в виде [2]

$$f(z) = y_0 e^{x/d} (1 + x/a)^{a/d}, \quad (6)$$

где a - расстояние от начала кривой до моды; d -радиус несимметричности; y_0 -модальная ордината. [1]. Параметры (6) связаны с центральными моментами распределения, причем

$$a + d = 2\beta_2 / \beta_3, \quad (7)$$

где β_2 и β_3 - соответственно второй и третий центральные моменты. При этом:

$$\beta_2 = C_v^2 m_x^2. \quad (8)$$

Третий центральный момент связан с коэффициентом асимметрии C_s и средним квадратичным отклонением, откуда

$$\beta_3 = C_s \sigma_x^3 = C_s C_v^3 m_x^3. \quad (9)$$

и наконец:

$$C_s = 2C_v / (1 - k_{min}), \quad (10)$$

где $k_{min}=x_{min}/m_x$ – модульный коэффициент минимального значения ряда. При этом возможны случаи: наименьшее значение ряда $x_{min}=0$, $x_{min}>0$, $x_{min}<0$. В первом случае $C_s = 2C_v$, во втором $C_s > 2C_v$, и в третьем $C_s < 2C_v$. Третий случай противоречит природе стоковых рядов; поэтому биномиальная кривая может использоваться лишь при $C_s > 2C_v$. Из свойств кривой биномиального распределения Пирсона 3 типа можно отметить следующее: она ограничена нижним, но не ограничена верхним пределом, т.е. при $x \rightarrow \infty$ кривая асимптотически приближается к оси абсцисс; опирается на три

статистических параметра m_x , C_s и C_v , а при $x_{min}=0$ становится двухпараметрическим распределением, так как C_s не является самостоятельным параметром.

Результаты и выводы. Для рек бассейна междуречья Днестр-Прут в соответствии с рекомендациями нормативного документа СНиПа 2.01.14-83 статистическая обработка рядов максимальных расходов воды весеннего половодья проводилась двумя методами: моментов и наибольшего правдоподобия. Получены три основных статистических характеристики: среднее многолетнее значение, коэффициент вариации C_v , коэффициент асимметрии C_s (таблица 1).

Таблица 1 - Статистические характеристики временных рядов максимальных расходов воды весеннего половодья.

N	Река-пост	Q _{ср} , м ³ /с	Метод моментов			Метод наибольшей правдоподобности			
			C_v	C_s	R_l	λ_2	λ_3	C_v	C_v/C_s
1	Мурафа –с.Кудиевцы	13,6	1,37	3,11	-0,175			1,28	2,4
2	Марковка–с.Слобода Подлесовская	21,6	1	1,19	0,005			0,98	1,1
3	Каменка-пгт.Каменка	12,4	1,23	1,95	-0,11	-0,34	0,27		
4	Белоче-с.Белочи	10,9	1,51	2,6	-0,157			1,39	1,9
5	Чёрная-с.Чёрна	10,6	1,47	2,4	0,051			1,35	1,8
6	Молокиш-с.Б.Молокиш	11,3	1,69	2,85	-0,11	-0,46	-0,38		-
7	Рыбница-с.Андреевка	3,22	0,95	1,29	-0,27	-0,28	0,19		-
8	Ягорлык-с.Дойбаны	11,3	1,25	2,29	0,1	-0,285	0,255	1,11	1,1
9	Реут-г.Бельцы	23,3	1,18	3,56	0,11	-0,22	0,22	1,01	2,4
10	Куболта-с.Куболты	21,6	0,61	1,05	0,31	-0,085	0,077	0,64	2,9
11	Кайнар-с.Севирово	13,6	0,93	1,79	0,18	-0,2	0,16	0,9	2
12	Картофлянка-с.Картофлянка	9,5	2,41	3,52	-0,09			2,04	1,7
13	Каменка–с.Гвоздово	12,9	1,33	2,15	-0,215			1,22	1,8
14	б.Погорна–с.Домулужаны	2,38	1,75	2,95	-0,061			1,57	1,9
15	Мал.Чулук-с.Теленешты	11,7	1,13	2	-0,02	-0,25	0,22	1,02	1
16	Кула-с.Гульбока	11,7	1	0,61	-0,477			0,92	0,7
17	Икель–с.Пашканы	7,19	0,73	0,9	-0,343			0,7	1,3
18	Балцата-с.Балцаты	2,74	1,65	3,1	-0,11	-0,41	0,36		-
19	Бык-г.Калараш	6,22	0,7	1,24	-0,15			0,69	1,8
20	Бык-г.Кишинев	11,5	1,01	1,34	-0,45	-0,26	0,2		-
21	Пожарная-с.Сипотены	3	0,79	1,4	-0,02	-0,16	0,12	0,75	1,7
22	Ишновец-с.Сынжера	4,6	1,49	1,84	-0,16	-0,46	0,36		-
23	Ботна-с.Каушаны	9,53	1,61	2,34	-0,15	-0,44	0,38		-
24	Когильник-г.Котовск	5,39	0,63	0,35	0,04	-0,13	0,09	0,63	1
25	Тараклия-с.Тараклия	3,9	2,18	2,47	-0,13	-0,82	0,62		-
26	Ялпух-ж.д.ст.Комрат	4,49	1,54	2,45	-0,03	-0,55	0,36		-
27	Делия-с.Пырлица	2,4	1,05	1,31	-0,25	-0,27	0,21		-

Как видно из табл.1 коэффициент вариации, рассчитанный по методу моментов колеблется в широких пределах – от 0,61 (р.Куболта-с.Куболты) до 2,41 (р.Картофлянка-с.Картофлянка); значения C_v , рассчитанные по методу наибольшего правдоподобия близки к значениям, рассчитанным по методу моментов. Во время статистической обработки также учитывался коэффициент автокорреляции R_l (табл.1), и в тех случаях, когда он оказывался значимым при расчёте C_v и C_s в формулы вносились соответствующие поправки. По методу моментов также получен коэффициент

асимметрии C_S (табл.1), его значения изменяются – то 0,35 (р.Когильник-г.Котовск) до 3,56 (р.Реут-г.Бельцы). Поэтому в случае расчёта по методу наибольшего правдоподобия получено соотношение C_S/C_V , которое для рассматриваемой территории можно усреднить и принять равным 1.5. Во время статистической обработки также учитывался коэффициент автокорреляции R_I (табл.1), и в тех случаях, когда он оказывался значимым при расчёте C_V и C_S в формулы вносились соответствующие поправки. По методу моментов также получен коэффициент асимметрии C_S (табл.1), его значения изменяются – то 0,35 (р.Когильник-г.Котовск) до 3,56 (р.Реут-г.Бельцы). Поэтому в случае расчёта по методу наибольшего правдоподобия получено соотношение C_S/C_V , которое для рассматриваемой территории можно усреднить и принять равным 1.5.

Следующим этапом статистической обработки рядов максимальных расходов являлся расчёт значений заданной вероятности превышения. Используя таблицы трёхпараметрического гамма – распределения [8] были определены модульные коэффициенты $k = f(C_V, C_S/C_V, P\%)$, а затем рассчитаны значения разной вероятности превышения, которые представлены в табл.2.

Таблица 2 - Расчет максимальных расходов весеннего половодья разной обеспеченности (P=1,3,5,10%) при $C_S=2C_V$

N	Река-пост	Qcp, м ³ /с	C_V	Q1%, м ³ /с	Q3%, м ³ /с	Q5%, м ³ /с	Q10%, м ³ /с
1	Мурафа-с.Кудиевцы	13,6	1,28	80,8	62,6	53,9	40,4
2	Марковка-с.Слобода Подлесовская	21,6	0,98	97,4	75,5	64,9	48,7
3	Каменка-пгт.Каменка	12,4	1,23	70,4	54,6	46,9	35,2
4	Белоче-с.Белочи	10,9	1,39	70,9	55,0	47,3	35,5
5	Чёрная-с.Чёрна	10,6	1,35	66,7	51,7	44,5	33,4
6	Молокиш-с.Б.Молокиш	11,3	1,69	89,8	69,6	59,9	44,9
7	Рыбница-с.Андреевка	3,22	0,95	14,1	10,9	9,4	7,1
8	Ягорлык-с.Дойбаны	11,3	1,11	57,6	44,7	38,4	28,8
9	Реут-г.Бельцы	23,3	1,01	108,2	83,9	72,1	54,1
10	Куболта-с.Куболты	21,6	0,64	65,9	51,1	43,9	33,0
11	Кайнар-с.Севирово	13,6	0,9	56,4	43,7	37,6	28,2
12	Картофлянка- с.Картофлянка	9,5	2,04	92,5	71,7	61,7	46,3
13	Каменка-с.Гвоздово	12,9	1,22	72,7	56,4	48,5	36,4
14	б.Погорна- с.Домулужаны	2,38	1,57	18,1	14,0	12,1	9,1
15	Мал.Чулул- с.Теленешты	11,7	1,02	54,9	42,6	36,6	27,5
16	Кула-с.Гульбока	11,7	0,92	49,1	38,1	32,7	24,6
17	Икель-с.Пашканы	7,19	0,7	23,7	18,4	15,8	11,9
18	Балцата-с.Балцаты	2,74	1,65	21,2	16,4	14,1	10,6
19	Бык-г.Калараш	6,22	0,69	20,2	15,7	13,5	10,1
20	Бык-г.Кишинев	11,5	1,01	53,4	41,4	34,8	26,7
21	Пожарная-с.Сипотены	3	0,75	10,5	8,1	6,8	5,3
22	Ишновец-с.Сынжера	4,6	1,49	32,3	25,0	18,1	16,2
23	Ботна-с.Каушаны	9,53	1,61	72	55,8	38,4	36,0
24	Когильник-г.Котовск	5,39	0,63	16,2	12,6	11,9	8,1
25	Тараклия-с.Тараклия	3,9	2,18	38,0	29,4	17,6	19,0
26	Ялпук-ж.д.ст.Комрат	4,49	1,54	32,5	25,2	17,9	16,3
27	Делия-с.Пырлица	2,4	1,05	11,6	9,0	7,5	5,8

Список литературы

1. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии.- Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 423С.
2. Кучмент Л.С, Демидов В.Н, Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока.-М.: Наука,1993.- 350С.
3. Гопченко Е.Д., Нагаева С.П. Овчарук В.А. Збірник методичних вказівок до практичних знань з дисципліни “Гідрологічні розрахунки”- Одеса, ОГМІ, 2001. – 58С
4. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N. Using meteorological data for reconstruction of the annual runoff series over an ungauged area: Empirical orthogonal functions approach to Moldova-Southwest Ukraine region//Atmospheric Research.-2005.-Vol.77.- P.100-113.
5. Сербов Н.Г., Сухарев Д.Е., Балан А.К. , Дудинов А.А. Моделирование экстремально высоких паводков и временных флуктуаций концентраций загрязняющих веществ (хлори-дов) в речной воде// Вісник Одеського держ. екологічного ун-ту.-2011.- N11.-С.172-177.
6. Maftuoglu R.F. New models for non-linear catchments analysis// Journal of Hydrology (Elsevier).-1984.-Vol.73.-P.335-357.
7. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.14-83). - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 447с.

Оцінка статистичних характеристик річок міжріччя Дністер-Прут.

Дудинов О.А.

Проведена статистична обробка рядів максимальних витрат води для річок басейну міжріччя Дністер-Прут.

Ключові слова: *статистичні методи обробки, максимальні витрати*

Estimate of statistical characteristics for rivers of the Dniester-Prut interfluves.

Dudinov A.A.

It is performed statistical processing the series of maximal runoff for rivers of the Dniester-Prut interfluves basin .

Keywords: *statistical processing methods, maximum runoff*