

УДК 519.16:556.072

С.К. Давлетгалиев*, Ж.У. Бексултанова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы
*E-mail: sdavletgaliev@mail.ru

Оценка длительности и повторяемости маловодных и многоводных периодов суммарного стока рек Жайык – Каспийского, Северного, Центрального и Восточного Казахстана

На основе смоделированных рядов суммарного стока равнинных рек Казахстана для пяти водохозяйственных бассейнов дана оценка длительности и повторяемости маловодных и многоводных периодов.

Ключевые слова: повторяемость, продолжительность, каноническое разложение, координатные функции группировок.

С.К. Давлетгалиев, Ж.У. Бексултанова

Жайық-Каспий, Солтүстік, Орталық, Шығыс Қазақстанның соммалық ағынның аз су және мөл кездеріндегі ұзақтылығы және қайталану бағалауы

Қазақстанның жазық бөлігіндегі су шаруашылық алаптарының жиынтық су ресурстарының модельденген қатарлары мен суы мол және тапшылық кезеңдеріндегі ұзақтылығы мен қайталанғыштығы бағаланған.

Түйінді сөздер: қайталанғыштық, ұзақтық, канондық жіктеу, координаттық функциялар, топтар.

S.K. Davletgaliev, Zh.U. Beksultanova

Estimate the duration and frequency of the dry and humid period, the total flow of the rivers Zhaiyk Caspian, North, Central and Eastern Kazakhstan

On the basis of the simulated series of plains rivers of Kazakhstan total flow of the five water basins assessed the duration and frequency of low-water and high-water periods.

Keywords: Repetition, duration, canonical decomposition, the coordinate functions, groups.

Развитие различных отраслей хозяйства, благоустройства населенных пунктов, интенсивный рост водопотребления и изменение климата требует знания закономерности чередования лет различной водности. Повторяемость длительных маловодных и многоводных периодов определяют величину гарантированной обеспеченности водой различных отраслей хозяйства.

Оценка длительности и повторяемости маловодных и многоводных лет различной водности не может быть выполнена, по данным наблюдений, ввиду их недостаточной продолжительности. Множество вариантов чередо-

вания маловодных и многоводных лет можно получить лишь на основании смоделированных рядов большой продолжительности. В качестве такой модели выбрана модель канонического разложения [1]. При этом исходными материалами явились наблюдаемые и восстановленные данные суммарного стока рассматриваемых районов за период с 1940 по 2010 гг. Длина смоделированных рядов – 1000 лет.

При моделировании суммарного стока методом канонического разложения процесс стока представляется в виде линейной комбинации некоррелированных случайных величин:

$$Q(t_k) = m_Q(t_k) + \sum \varphi_v(t_k) V_v, \quad (1)$$

где V_v – некоррелированные случайные величины, математическое ожидание которых равно нулю, $\varphi_v(t_k)$ – некоторые (неслучайные) функции, называемые координатными, $m_Q(t_k)$ – математическое ожидание функций $Q(t_k)$. Алгоритм моделирования подробно изложен в [2]. Координатные функции определяются по формулам приведенным в [1].

Модель канонического разложения как и в других случаях [1, 2] хорошо сохраняет параметры суммарного стока: норму, коэффициенты вариации, асимметрии (табл. 1).

На основании полученных 1000-летних смоделированных рядов суммарного стока Жайык-Каспийского, Тобыл-Торгайского, Есильского, Нура-Сарысуского и Ертисского водохозяйственных районов были подсчитаны группировки маловодных и многоводных лет для различных значений водности.

Таблица 1 – Статические параметры наблюдаемых (1-я строка) и смоделированных (2-я строка) рядов суммарного стока рек

	Жайык-Каспийской в/х бассейн	Тобыл-Торгайский в/х бассейн	Нура-Сарысуский в/х бассейн	Есильский в/х бассейн	Ертисский в/х бассейн
Q_0	$\frac{402}{414}$	$\frac{54,2}{55,8}$	$\frac{27,7}{27,4}$	$\frac{72,4}{72,4}$	$\frac{1026}{1026}$
C_v	$\frac{0,47}{0,48}$	$\frac{0,66}{0,68}$	$\frac{0,71}{0,73}$	$\frac{0,69}{0,70}$	$\frac{0,24}{0,24}$
C_s	$\frac{0,94}{0,98}$	$\frac{0,88}{1,28}$	$\frac{1,09}{1,49}$	$\frac{1,03}{1,33}$	$\frac{0,48}{0,52}$

В качестве примера в таблицах 2 и 3 приведены результаты расчета по Жайык-Каспийскому и Тобыл-Торгайскому бассейнам. В этих таблицах даны следующие характеристики стока: число случаев маловодных и многоводных группировок той или иной обеспеченности продолжительностью 1, 2, 3 и т.д. подряд, число лет в каждой группировке в процентах от 1000-летнего ряда, обеспеченности $P(n)$ группировок маловодных (многоводных) лет. Так, маловодная группировка $n=6$ лет для обеспеченности $n \geq 40\%$ ($K \leq 1,04$) в Жайык-Каспийском бассейне имеет обеспеченность 15,8 % это значит, что 15,8 лет из 100 или 158 лет из 1000 могут иметь место маловодные группы в 6 лет и более. Таким образом, в 100-летнем периоде маловодных шестилеток такой обеспеченности может быть не более двух. Маловодная группировка $n=10$ лет подряд для данной значения водности обеспечена на 3,3 %. Это значит, что в 100-летнем периоде такая десятилетка в среднем не может иметь место, а из 1000-летнего ряда на долю маловодных группировок продолжительностью 10 лет подряд приходится 33 года (табл. 2).

Для величины стока 50 % обеспеченности ($K \leq 0,92$), обеспеченность шести лет составляет 9 %. Это значит, что 9 лет из 100 могут иметь маловодные группировки в 6 лет и более, т.е такая шестилетка может повторяться в среднем 1 раз в 100 лет. Маловодная группировка 10 лет подряд для указанного значения водности в 100-летнем периоде не может быть.

Обеспеченность многоводной группировки шестилеток ($n=6$) и семилеток ($n=7$) в вышеуказанном районе при $P \leq 40\%$ ($K \geq 1,04$) соответственно составляет 6,2 % и 2,6 % (табл. 5). Обеспеченность группировок $n=8$ лет и более равна нулю. При $P \leq 25\%$ ($K \geq 1,26$) в 100-летнем не может наступить подряд $n=6$ и более лет.

В суммарном стоке Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна вероятность наступления маловодных группировок большой длительности, выше чем вероятность наступления многоводных.

При $P \geq 40\%$ ($K \leq 1,06$) в Тобыл-Торгайском бассейне (табл. 2) маловодная группировка $n=6$ лет имеет обеспеченность 23,0 %, что также означает 23 года из 100 или 230 лет из 1000 могут иметь маловодные группировки в 6 лет и более

Таблица 2 – Распределение группировок маловодных лет разной продолжительности для различных значений водности суммарного естественного стока по модельным данным Жайык-Каспийского бассейна (n=1000)

Водность группировок	Характеристики	Число лет в маловодной группировке n												Всего
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P \geq 40 %, K \leq 1,04	Число случаев	64	56	29	21	13	4	6	4	3	1	1	1	
	Число лет	64	112	87	84	65	24	42	32	27	10	11	12	570
	% от общего числа лет	6,4	11,2	8,7	8,4	6,5	2,4	4,2	3,2	2,7	1,0	1,1	1,2	57,0
	P(n)	57,0	50,6	39,4	30,7	22,3	15,8	13,4	9,2	6,0	3,3	2,3	1,2	
P \geq 50 %, K \leq 0,92	Число случаев	85	47	30	22	5	1	3	3	3	-	-	1	
	Число лет	85	94	90	88	25	6	21	24	27	-	-	12	472
	% от общего числа лет	8,5	9,4	9,0	8,8	2,5	0,6	2,1	2,4	2,7	-	-	1,2	47,2
	P(n)	47,2	38,7	29,3	20,3	11,5	9	8,4	6,3	3,9	-	-	1,2	
P \geq 75 %, K \leq 0,65	Число случаев	100	38	8	8	1	1	-	-	-	-	-	-	
	Число лет	100	76	24	32	5	6	-	-	-	-	-	-	243
	% от общего числа лет	10,0	7,6	2,4	3,2	0,5	0,6	-	-	-	-	-	-	24,3
	P(n)	24,3	14,3	6,7	4,3	1,1	0,6	-	-	-	-	-	-	
P \geq 90 %, K \leq 0,46	Число случаев	58	13	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Число лет	58	26	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	94
	% от общего числа лет	5,8	2,6	0,6	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4
	P(n)	9,4	3,6	1,0	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	
P \geq 95 %, K \leq 0,36	Число случаев	27	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Число лет	27	6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36
	% от общего числа лет	2,7	0,6	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6
	P(n)	3,6	0,9	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P \geq 97 %, K \leq 0,31	Число случаев	18	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Число лет	18	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
	% от общего числа лет	1,8	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,2
	P(n)	2,2	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица 4 - Эмпирическая обеспеченность группировок многоводных лет в моделированных рядах для отдельных значений водности

№	Река-пункт	Водность группировок	Число лет в многоводной группировке															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1	Жайык-Каспийский бассейн	$P \leq 10\%, k \geq 1,63$	11,2	5,3	1,9	0,4												
		$P \leq 25\%, k \geq 1,26$	27,5	16,6	8,8	3,7	2,5											
		$P \leq 40\%, k \geq 1,04$	43	33,2	23,8	16	11,2	6,2	2,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2
4	Тобыл-Торгайский бассейн	$P \leq 10\%, k \geq 1,89$	11,2	3,4	1,2													
		$P \leq 25\%, k \geq 1,37$	25,1	14	8,6	2,9	1,7	1,2										
		$P \leq 40\%, k \geq 1,06$	39,2	28,9	19,9	13	7	5	2,6	1,9	1							
5	Нура-Сарысуекский бассейн	$P \leq 10\%, k \geq 1,94$	10,5	1,8														
		$P \leq 25\%, k \geq 1,34$	23,3	10,4	3,2	0,8												
		$P \leq 40\%, k \geq 1,01$	38,8	26	17,2	11,8	6,2	1,2										
6	Есилекский бассейн	$P \leq 10\%, k \geq 1,94$	10	2,9	0,3													
		$P \leq 25\%, k \geq 1,34$	24,6	14,4	6,8	3,2	1,6	0,6										
		$P \leq 40\%, k \geq 1,01$	39,5	29,1	18,1	10,9	6,5	3,5	1,7	0,9								
7	Ертысский бассейн	$P \leq 10\%, k \geq 1,33$	8,5	1,7	0,3													
		$P \leq 25\%, k \geq 1,15$	23,1	12,7	5,7	1,5	-	-	0,7									
		$P \leq 40\%, k \geq 1,045$	38,7	25,3	15,3	9,3	3,3	1,3	0,7									

Таблица 5 - Эмпирическая обеспеченность группировок маловодных лет в смоделированных рядах для отдельных значений водности

№	Река-пункт	Водность группировок	Число лет в маловодной группировке														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Жайык-Каспийский бассейн	$P \geq 40\%$, $k \leq 1,04$	57	50,6	39,4	30,7	22,3	15,8	13,4	9,2	6	3,3	2,3	1,2			
			47,2	38,7	29,3	20,3	11,5	9	8,4	6,3	3,9	-	-	1,2			
			24,3	14,3	6,7	4,3	1,1	0,6									
4	Тобыл-Торгайский бассейн	$P \geq 40\%$, $k \leq 1,06$	60,8	54,1	43,5	37,8	29	23	18,8	15,3	13,7	11,9	8,9	6,7	5,5	1,6	
			50,6	42,5	32,1	24	18	13,5	10,5	5,6	4,8	4,8	4,8	4,8	3,7	1,3	
			23,4	13,2	6,6	2,4											
5	Нура-Сарысуеский бассейн	$P \geq 40\%$, $k \leq 1,01$	61,2	52,7	42,9	33,6	28	18,5	14,9	12,8	11,2	9,4	7,4	6,3	3,9		
			50,3	39,7	27,1	17,2	11,6	7,6	4,6	3,9	3,1	2,2			1,2		
			25	12,3	4,3	1,6											
6	Есилский бассейн	$P \geq 40\%$, $k \leq 1,01$	60,7	53,3	43,9	36,1	29,7	23,7	20,1	14,5	9,7	9,7	7,7	5,5	4,3	3	
			50,8	42,5	31,3	22,3	15,1	10,6	8,2	6,1	2,9	2					
			24,3	14,3	4,9	3,1	2,7	0,7	0,7								
7	Ертысский бассейн	$P \geq 40\%$, $k \leq 1,045$	61,3	52,8	43,2	33,3	26,1	19,1	10,1	7,3	4,9	3,1	1,1				
			50,5	38,9	28,7	17,3	10,9	7,4	5,6	3,5	1,9	1					
			23,5	11,5	4,9	-	1										
		$P \geq 75\%$, $k \leq 0,82$															

Следовательно, в 100-летнем периоде маловодных шестилеток такой обеспеченности может быть не более трех, а в 1000-летнем периоде не более тридцати. Обеспеченность маловодных групп 10 лет в два раза меньше, обеспеченности шестилеток. В Тобыл-Торгайском бассейне встречается также маловодная группировка продолжительностью в 16 лет с обеспеченностью 1-2 %. При водности $P \geq 50$ % ($K \leq 0,88$) обеспеченность шестилеток и десятилеток в два раза меньше, чем при водности $P \leq 40$ % ($K \leq 1,06$) а 16-летка вообще отсутствует (табл. 3).

Обеспеченность многоводных группировок $n=6$ и $n=10$ при $P \leq 40$ % ($K \leq 1,06$) составляет 5,0 % и 1,0 % (табл. 4). В Есильском водохозяйственном бассейне при водности $P \leq 40$ % ($K \leq 1,01$) и $P \geq 50$ % ($K \leq 0,84$) обеспеченности маловодных шестилеток близки к обеспеченности шестилеток Тобол-Торгайского бассейна при той же водности. При $P \geq 50$ % ($K \leq 0,84$) обеспеченность 10 лет в Есильском бассейне в 2 раза меньше обеспеченности той же 10-летки в Тобол-Торгайском бассейне. Обеспеченность шестилеток многоводной группировки $n=6$ лет при $P \leq 40$ % ($K \leq 1,01$)-3,5 % (табл. 4).

При водности $P \leq 40$ % ($K \leq 1,01$) и $P \geq 50$ % ($K \leq 0,84$) обеспеченности маловодных шестилеток в Нура-Сарысуском бассейне соответствен-

но равны 18,5 и 7,60 % обеспеченность маловодных 10-леток для указанных водности в этом районе совпадает с обеспеченностью 10-лет в Есильском бассейне (табл. 5).

Обеспеченность многоводных группировок $n=6$ при $P \leq 40$ % ($K \leq 1,01$) в Нура-Сарысуском бассейне составляет всего 1,2 %, а обеспеченность десятилетки равна нулю.

В Ертисском бассейне при водности $P \leq 40$ % ($K \leq 1,04$) и $P \geq 50$ % ($K \leq 0,97$) обеспеченности маловодных шести лет составляет соответственно 19,1 % и 7,4 % обеспеченность десятилетки для указанных водности соответственно равна 3,1 и 1,0 % обеспеченность многоводной группировки $n=6$ при $P \leq 40$ % ($K \leq 1,04$) равна 3,1 % (табл. 4 и 5).

Таким образом, при водности $P \geq 50$ % в Жайык-Каспийском бассейне маловодный период длительностью в 10 лет не может быть, в Ертисском бассейне обеспеченность такой водности равна 1,0 %. В Нура-Сарысуском и Тобол-Торгайском бассейнах возможно появление маловодных периодов длительностью 11-12 лет, в Тобол-Торгайском бассейне при $P \leq 40$ % следует ожидать появления маловодных периодов продолжительностью 16 лет с обеспеченностью 1,6-2,0%, т.е в 100-летнем периоде возможны появления 16-летних маловодных.

Литература

- 1 Бусалаев И.В., Давлетгалиев С.К., Куперман И.Г. Моделирование гидрографа стока методом канонического разложения // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства. – Алматы: Наука, 1973. – Вып.10. – С.143-152.
- 2 Давлетгалиев С.К. Групповое моделирование гидрографов месячного стока // Водные ресурсы, 2013. – Т. 40. – №4. – С. 350-358.
- 3 Ресурсы поверхностных вод СССР. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Т. 12. – Вып. 3. Актюбинская область. – 515 с.

Reference

- 1 Busalaev I.V. Davletgaliev S.K. Kuperman I.G. Modelirovanie gidrografa stoka metodom kanonicheskogo razlozhenija // Problemy gidrojenergetiki i vodnogo hozjajstva. – Almaty: Nauka, 1973. – Вып.10. – С.143-152.
- 2 Davletgaliev S.K. Gruppovoe modelirovanie gidrografov mesjachnogo stoka // Vodnye resursy, 2013. – Т. 40. – №4. – С. 350-358.
- 3 Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Nizhnee Povolzh'e i Zapadnyj Kazahstan. – L.: Gidrometeoizdat, 1966. – Т.12. – Вып. 3. Aktjubinskaja oblast'. – 515 s.