

УДК.556.16:556.072

Геогр. ғылым. докторы
Геогр. ғылым. канд.С.К. Давлеткалиев¹
С.К. Алимкулов²
Э.К. Талипова^{2,1}**ӨЗЕН АҒЫНДЫСЫ МЕН ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ АЙЛЫҚ МӘНДЕРІН БІРЛЕСТІРІП, СТАТИСТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ АРҚЫЛЫ ІЛЕ ӨЗЕНІНІҢ ГИДРОГРАФЫН ҰЗАҚ МЕРЗІМГЕ БОЛЖАУ**

Түйін сөздер: статистикалық модельдеу, канондық жіктеу, айлық ағынды, ағынды гидрографы, жауын-шашын, ұзақ мерзімдік болжам, корреляциялық матрица.

Мақалада айлық ағынды мен жауын-шашын мәндерін канондық жіктеу әдісі арқылы бірлестіре статистикалық модельдеу мүмкіншілігі көрсетілген. Модельденген қатардың сапасын тексеру мақсатында бақыланған және модельденген мәндердің, яғни орташа мәндері, асимметрия және вариация, авто және өзара корреляция коэффициенттері салыстырылды. Ағынды құраушы фактордың модельденген қатары арқылы климат өзгеруінің әртүрлі сценарийлері негізінде айлық ағындыға ұзақ мерзімді болжам жасалды.

Гидрологиялық сипаттамаларды алдағы бірнеше онжылдықтарға болжау мәселесі гидрология саласының маңызды бөлшегі болып табылады. Ол халықты және экономика салаларын сумен қамтамасыз етуді жоспарлау бойынша маңызды тәжірибелік тапсырмаларды шешумен және аумақтық, алаптық су бөлісу, өзен ағындысын реттеу барысындағы ірі су шаруашылық іс-шараларды негіздеумен тікелей байланысты [4].

Бірақ қазіргі таңда дүние жүзінде су ресурстарын алдағы 1...5 жылдан жоғары уақытқа болжаудың бірінғай әдістемесі жоқтың қасы, яғни ұзақ мерзімдік болжамдарға арналған арнайы әдістер мен мемлекеттік стандарттар жасалмаған. Өкінішке орай, ғылымның қазіргі даму деңгейі

¹ әл-Фараби атын. ҚазҰУ, Алматы қ., Қазақстан

² География институты ЖШС, Алматы қ., Қазақстан

өзен ағындысының сенімді болжамдарын жасауға қауқары жетпейді, дегенмен тек мүмкін болатын сценарийлер немесе сценарлық болжамдар беруге болады [4].

Келешектегі өзен ағындысының өзгерісін болжау үшін негізгі екі тұжырымдаманы қарастыруға болады. Бірінші тұжырымдамаға сәйкес өзен ағындысының қалыптасу негізі оның стохастикалық түп негізінде жатыр деп қарасақ болады, яғни өзен ағындысын қалыптастыратын процесстердің тұрақтылығына сүйеніп өзен ағындысының уақыттық қатарын келешекте мүмкін болатын өзгеріс заңдылықтарын ескере отырып болжау. Бірақ өзен ағындысын қалыптастыратын климаттық параметрлер қазіргі кезде өзгеріске ұшырағаны анық. Климат өзгерісі 21 ғасырдағы өзекті мәселелердің біріне айналды [4]. Климаттың өзгеруі жөніндегі мемлекетаралық топтың (КӨЖМІП) бесінші есебі бойынша ғаламдық орташа ауа температурасы 1981...2000 жылдармен салыстырғанда $0,46 \pm 0,1$ °C көтерілгенін көрсетеді [9]. Осы орайда ғаламдық климат өзгерістерін ескере отырып өзен ағындысын ұзақ мерзімге болжау туралы екінші тұжырымдама пайда болды. Гидрологиялық құбылыстар ауа-райы шарттарымен тікелей байланысты және олардың болжамы ұзақ мерзімді метеорологиялық болжамдардың сапасына тікелей бағынышты болады. Е.А. Леоновтың «Космос және өте ұзақ мерзімді гидрологиялық болжамдар» монографиясында климаттың су ресурстарына әсерінің алты каналы атап көрсетілген. Бірақ алты каналдың негізгі факторларының өзен ағындысына бірлескен әсері әліде толық зерттелмеген және көптеген мамандардың зерттеуін талап етеді [8].

Бұл мақалада айлық өзен ағындысы мен метеорологиялық факторлардың статистикалық модельденген мәндерін ағынды гидрографының сценарлық болжамын жасау мүмкіншілігі қарастырылды. Айлық ағынды гидрографын модельдеуге арналған көптеген жұмыстарды атап өтуге болады [2, 3, 5-7, 10-16], әдістің жетістіктері мен кемшіліктері толығырақ [6] жұмыста қарастырылған. Сондай ақ Ресей ғылым академиясының Су мәселелері институтында ағынды қалыптасуының физика-математикалық моделі негізінде ағындыны қалыптастыратын факторларды ескеретін жұмыс жасалған [10]. Бірақ мұндай болжамдардың ұзақтылығы шектеулі және ғаламдық климаттың өзгеруі нәтижесінде ағынды құраушы факторлардың өзгерісі ескерілмеген.

Модельдеудің негізгі мақсаты атмосфералық жауын-шашын мен ауа температурасының жағдайын ескеріп көптеген ағынды гидрографын

алу болып табылады. Ағынды мен оны қалыптастыратын факторлардың гидрографының бірнеше нұсқасының соңғы уақыт нүктесіне қойылған кездейсоқ процестер мен векторларды модельдеу мақсаты ретінде қарастыруға болады. Қалыпты процестер корреляциялық мезет матрицасымен беріледі, сәйкесінше корреляциялық теория шеңберінде модельдеу көп өлшемді үлестірім заңы бойынша модельдеумен тең. Осы орайда ағындыны статистикалық модельдеудің ең тиімді ұстанымы ретінде канондық жіктеуді қарастыруға болады. Ол кездейсоқ шамалар мен кездейсоқ емес функциялар жиынтығын сипаттауға мүмкіншілік береді. Канондық жіктеу әдісі сызықтық түрлендіру санатындағы тиімдісі және маңызды артықшылығының бірі метеорологиялық параметрлермен байланысты модельдеу процесін бірнеше тұстамада бір уақытта жасауға болатындығы [5, 6, 11].

Кездейсоқ векторлық функцияларды канондық жіктеу бірөлшемді жағдай формулаларының жинақтау жолымен алынады. Ол үшін [11] жұмыста көрсетілгендей сәйкес келетін t аргументінің қатынасын t аргумент жиынтығына ауыстырып, кездейсоқ векторлық функцияның нөмірін енгізу керек. Яғни кездейсоқ векторлық функцияны жіктеу төмендегі формуламен беріледі:

$$Q_{\ell}(t_v) = m_Q(t_v) + \sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^M \varphi_{v\ell}^{(i)}(t_v) V_v, \quad (1)$$

$$(i, \ell = 1, \dots, N)$$

$$\varphi_{v\ell}^{(i)}(t_v) = \frac{1}{D_v^{(i)}} \left[K_{i\ell}(t_v t_{\mu}) - \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{m=1}^M D_m^{(k)} \varphi_{mi}^{(k)}(t_v) \varphi_{mi}^{(k)}(t_{\mu}) - \sum_{m=1}^{v-1} D_m^{(i)} \varphi_{mi}^{(i)}(t_v) \varphi_{m\ell}^{(i)}(t_{\mu}) \right] \quad (2)$$

Мұнда,

$$D_v^{(i)} = K_{ii}(t_v t_v) - \sum_{k=1}^{i-1} \sum_{m=1}^M D_m^{(k)} [\varphi_{mi}^{(k)}(t_v)]^2 - \sum_{m=1}^M D_m^{(i)} [\varphi_{mi}^{(i)}(t_v)]^2 \quad (3)$$

D_v - кездейсоқ коэффициентінің дисперсиясы;

$K_{ii}(t_v t_{\mu})$ – векторлық кездейсоқ функцияның V корреляциялық және өзара корреляциялық функциясы

$Q_{\ell}(t)$, M – жыл ішіндегі есептік аралықтар саны (айлар, декадалар)

Мұнда

$v = 1, 2, \dots, M$;

$\mu > v, \mu = v+1, v+2, \dots, M (l = i)$;

$\mu = 1, 2, \dots, M; 1 = i+1, i+2, \dots, N (l > i)$.

(1) теңдеуді орталық функциялар үшін жазып, математикалық күтуді орындап және кездейсоқ корреляциялық коэффициенттерді ескере отырып, теңдеудің екі жағын V -ға көбейту арқылы $Q_1(t)$ бірінші құраушысының координаталық функциясын аламыз. Одан әрі $Q_2(t)$, $Q_3(t)$, $Q_M(t)$ от $Q_I(t)$ құраушыларын канондық жіктеу арқылы өзара корреляция функциясын аламыз. Бұл формуладан авто және өзара координаталық функциялар $Q_2(t)$ анықталады. Осы процесті жалғастыра отырып, кездейсоқ векторлық функциялардың барлық құраушысына $Q_I(t)$ канондық жіктеу жүргіземіз.

Егер негізгі ағынды қалыптастырушы фактор ретінде айлық жауын-шашын мен ауа температурасы қарастырылатын болса, онда (1) формуладағы канондық жіктеу екі кездейсоқ функция үшін төмендегідей жазылады:

$$Q(t) = m_Q(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v1}^{(1)}(t)V_v^{(1)},$$

$$P(t) = m_p(t) + \sum_{v=1}^M \varphi_{v2}^{(1)}(t)V_v^{(1)} + \sum_{v=1}^M \varphi_{v2}^{(2)}(t)V_v^{(2)}, \quad (4)$$

мұнда $m_Q(t)$, $m_p(t)$, - $Q(t)$, $P(t)$, құраушылары үшін математикалық күту;

$V_v^{(1)}$, $V_v^{(2)}$, – математикалық күту нөлге тең болатын реттелмеген кездейсоқ шамалар; $\varphi_{v2}^{(1)}(t)$ – $P(t)$ және $Q(t)$ құраушылары бар өзара координаттық функциясы; $Q(t)$ – ағынды, $P(t)$ – атмосфералық жауын-шашын. Ағынды қалыптастырушы факторлар мен ағындыны біртұтас модельдеу алгоритмы [8] жұмыста көрсетілген.

Бұл жұмыста айлық ағынды гидрографының болжамын канондық жіктеу әдісімен жасау мүмкіншілігін Іле өзенінде Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары орналасқан гидрологиялық бекет мәліметтерімен жүргізілді. Модельді тексеру мақсатында есептік кезең ретінде 1960...2015 жж. аралығындағы өзен ағындысы және ағындыны құраушы фактор ретінде атмосфералық жауын-шашын алынды. Атмосфералық жауын-шашынның өзен ағындысының арасындағы жақсы корреляциялық байланыс яғни $r > 0,60$ жоғары болған Нарынқол және Мынжылқы метеостанцияларының (МС) мәндері алынды. Модельденген қатар саны 500 жылды құрайды.

Айлық ағынды мен жауын-шашынның таралу заңдылығы барлық жағдайда Пирсонның χ^2 критерийі бойынша алынды. Модельдің сапасы

негізгі және модельденген қатарлардың салыстыруы арқылы жүзеге асады. Айлық ағынды мен жауын-шашынның негізгі сипаттамаларының айлық мәндерін салыстыру нәтижелері төмендегі 1-4 кестелерде көрсетілген.

Кесте 1

Іле өзені (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) және Нарынқол, Мынжылқы МС бойынша айлық орташа су өтімі және жауын-шашынның статистикалық параметрлері.

Параметр	Айлар												Жыл
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Су өтімі													
Q, м ³ /с	226	239	351	408	606	885	1066	1073	605	402	350	279	541
	228	240	352	410	603	880	1058	1069	602	400	347	277	543
Cv	0,14	0,15	0,12	0,21	0,27	0,30	0,26	0,20	0,16	0,11	0,10	0,15	0,15
	0,15	0,15	0,12	0,21	0,27	0,30	0,26	0,20	0,16	0,12	0,11	0,16	0,15
Cs/Cv	6	2	1	2	2	1	5	6	2	1	1	2	4
	8	2	1	1	2	1	4	5	3	2	2	3	3
r	0,05	-0,07	0,41	0,02	0,21	0,24	0,19	0,27	0,32	0,08	0,21	-0,09	0,32
	0,07	-0,05	0,43	-0,04	0,07	0,06	0,15	0,21	0,21	-0,03	0,17	-0,17	0,11
Жауын-шашын													
X, мм	15,9	18,1	33,0	62,9	98,2	104,0	97,5	64,9	41,1	39,3	30,5	20,2	52,1
	15,2	17,3	32,5	63,6	99,9	104,5	99,9	63,7	40,1	39,7	31,1	20,2	52,7
Cv	0,58	0,44	0,45	0,39	0,28	0,27	0,36	0,44	0,48	0,44	0,52	0,63	0,15
	0,57	0,44	0,45	0,38	0,29	0,28	0,36	0,47	0,47	0,44	0,53	0,74	0,15
Cs/Cv	2	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	3	3
	2	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	3	2
r	-0,03	0,03	-0,07	-0,05	-0,14	-0,10	-0,02	-0,10	0,00	-0,13	-0,19	-0,03	-0,03
	-0,04	-0,02	-0,11	-0,10	-0,13	-0,13	-0,05	-0,14	0,00	-0,15	-0,16	-0,10	-0,15

Ескерту: 1-ші қатар – бақыланған мәліметтер, 2-ші қатар – модельденген мәліметтер.

Кестеден көріп тұрғанымыздай айлық ағынды мен жауын-шашынның модельденген және бақыланған орташа мәні вариация коэффициенті арасында 500 жылға модельденген мәліметтер бойынша салыстырмалы түрде жақсы сәйкестік байқалады. Бірінші реттік автокорреляция және ассиметрия коэффициенті арасындағы айырмашылық осы параметрлердің есептік дәлдігінде жатыр. Канондық жіктеу әдісі сондай-ақ бастапқы және модельденген мәліметтердің корреляциялық және өзара корреляциялық матрицаларын да жақсы шығарады (кесте 2).

Модельдеудің дәлдігін тексеру үшін Іле өзені – Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары орналасқан гидрологиялық бекеттен алынғын

сулылығы әртүрлі жылдар үшін модельденген мәліметтерді нақты мәндермен салыстырылды және оның нәтижесі төмендегі кестеде көрсетілді (кесте 4).

Кесте 2

Су өтімі және жауын шашынның бақыланған (1-ші қатар) және модельденген (2-ші қатар) корреляциялық матрица қатары (n=500 жыл).

Айлар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Су өтімі												
I	1	0,64	0,22	-0,05	0,05	0,07	0,06	0,10	0,26	0,20	0,19	0,23
		0,63	0,21	-0,03	0,13	0,12	0,06	0,09	0,30	0,26	0,29	0,31
II		1	0,51	0,05	0,10	0,16	0,10	-0,03	-0,01	0,17	0,20	0,31
			0,45	0,05	0,20	0,25	0,13	-0,01	0,08	0,28	0,33	0,39
III			1	0,29	0,22	0,15	0,05	0,00	0,00	0,14	0,29	0,08
				0,20	0,18	0,18	0,04	-0,02	0,03	0,14	0,29	0,08
IV				1	0,37	0,46	0,43	0,53	0,43	0,41	0,36	0,33
					0,36	0,45	0,45	0,55	0,47	0,45	0,39	0,46
V					1	0,68	0,53	0,50	0,55	0,60	0,54	0,37
						0,67	0,53	0,51	0,57	0,62	0,52	0,41
VI						1	0,65	0,53	0,57	0,73	0,56	0,41
							0,60	0,46	0,53	0,72	0,53	0,46
Жауын-шашын												
VII							1	-0,01	-0,08	0,14	0,11	0,05
								-0,03	-0,06	0,14	0,11	0,03
VIII								1	-0,15	-0,04	-0,08	0,04
									-0,21	-0,05	-0,09	0,06
IX									1	0,13	-0,09	0,05
										0,24	-0,13	0,01
X										1	0,03	0,13
											0,04	0,23
XI											1	0,01
												0,01
XII												1

Кесте 3

Су өтімі және жауын шашынның бақыланған (1-ші қатар) және модельденген (2-ші қатар) өзара корреляциялық матрица қатары (n=500 жыл).

Айлар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I	0,04	0,01	0,06	0,29	0,31	0,30	0,33	0,39	0,33	0,26	0,24	0,22
	0,05	-0,02	-0,03	0,31	0,34	0,28	0,28	0,40	0,39	0,30	0,22	0,27
II	-0,14	0,01	-0,11	0,22	0,15	0,41	0,23	0,19	0,17	0,29	0,18	0,24
	-0,08	0,05	-0,09	0,23	0,10	0,38	0,26	0,20	0,15	0,31	0,20	0,26
III	0,13	0,15	0,07	0,39	0,23	0,25	0,24	0,38	0,22	0,11	0,13	0,27
	0,06	0,13	0,00	0,41	0,20	0,26	0,20	0,32	0,20	0,12	0,12	0,32
IV	0,07	0,11	0,19	0,24	0,12	0,20	0,09	0,18	0,12	0,13	0,17	0,08

Айлар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
V	0,06	0,16	0,24	0,29	0,15	0,22	0,06	0,13	0,12	0,17	0,20	0,15
	0,11	0,28	0,24	0,04	0,25	0,32	0,06	0,02	0,11	0,16	0,12	0,02
	0,08	0,28	0,20	0,03	0,26	0,34	0,07	-0,02	0,08	0,17	0,13	0,05
VI	0,04	0,03	-0,09	0,11	0,27	0,26	0,20	0,19	0,19	0,26	0,15	0,17
	0,03	0,05	-0,10	0,17	0,27	0,22	0,17	0,14	0,14	0,25	0,17	0,22
VII	-0,09	0,04	0,06	0,34	0,33	0,25	0,20	0,17	0,18	0,26	0,22	0,22
	-0,13	0,05	0,11	0,38	0,34	0,26	0,22	0,18	0,21	0,31	0,30	0,29
VIII	0,07	0,12	0,00	-0,16	0,11	0,25	0,27	0,12	0,11	0,20	-0,11	0,05
	0,06	0,13	0,00	-0,24	0,08	0,23	0,19	0,02	0,02	0,12	-0,03	0,08
IX	-0,04	-0,17	-0,12	0,13	-0,12	0,12	0,09	0,11	0,12	0,19	0,19	0,39
	-0,02	-0,17	-0,09	0,19	-0,12	0,09	0,11	0,15	0,14	0,22	0,24	0,38
X	-0,01	-0,06	0,05	0,15	-0,05	0,03	0,18	0,25	0,05	0,02	0,01	0,11
	-0,07	-0,09	0,11	0,21	-0,01	0,07	0,23	0,27	0,10	0,08	0,05	0,18
XI	0,00	-0,03	-0,02	0,13	-0,14	0,10	-0,17	-0,14	-0,02	0,09	0,05	0,13
	0,03	0,07	0,09	0,16	-0,17	0,10	-0,19	-0,21	-0,04	0,06	0,10	0,16
XII	-0,12	0,02	0,00	0,37	0,22	0,21	0,13	0,30	0,13	0,10	0,07	0,28
	-0,06	0,05	0,03	0,41	0,20	0,23	0,15	0,28	0,14	0,13	0,07	0,31

Кесте 4

Іле өзені (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) және Нарынқол,
 Мыңжылқы МС-ғы гидрологиялық және метеорологиялық
 сипаттамалардың салыстырмалық мәндері

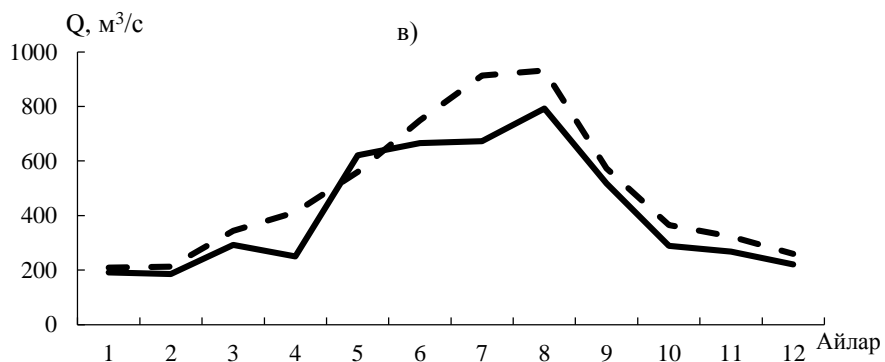
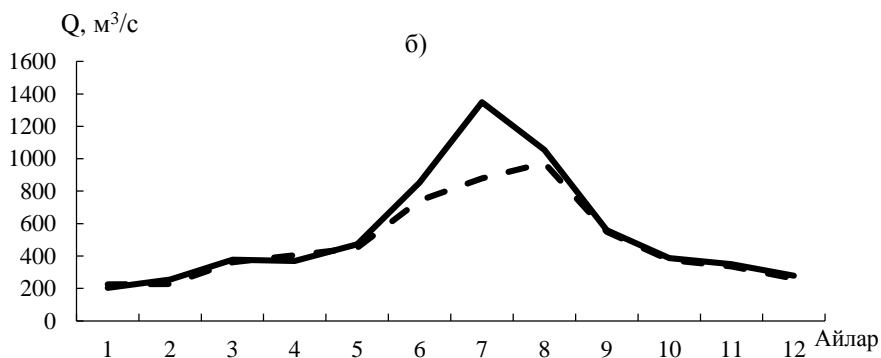
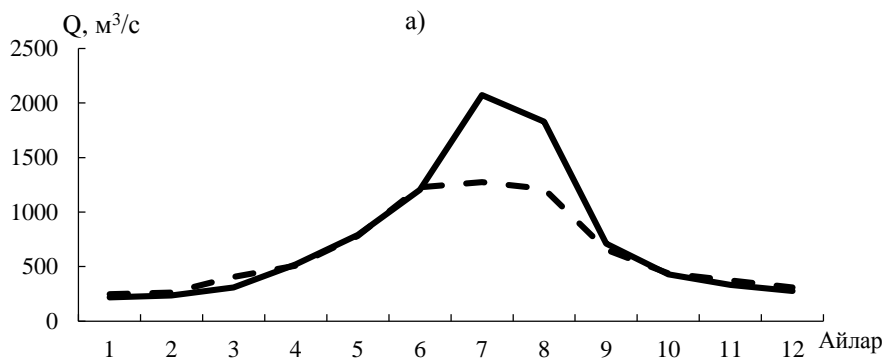
Параметр	Сәйкес келетін гидрограф номері	Жыл	Жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері, мм	Вег. кезеңіндегі орташа жауын-шашын мөлшері, мм	Жылдық ағынды, м ³ /с	Вегетация кезеңіндегі ағынды, м ³ /с
Суы мол жыл	№ 15, 46, 194, 307, 335	2010	<u>58.1</u>	<u>77.8</u>	<u>744</u>	<u>1188</u>
Айырмашылық, %			57,8	87,5	641	943
Суы орташа жыл	№ 100, 169, 209, 233, 271, 365	2015	<u>43.7</u>	<u>61.0</u>	<u>542</u>	<u>776</u>
Айырмашылық, %			43,9	64,7	482	667
Суы тапшы жыл	№ 34, 158, 350, 377, 450	1974	<u>48.6</u>	<u>70.1</u>	<u>414</u>	<u>586</u>
Айырмашылық, %			48,5	73,1	488	690
			0,2	4,3	17,9	17,7

Ескерту: алымында бақыланған мәліметтер, бөлімінде – модельденген мәліметтер.

Бұл мақсатты жүзеге асыру үшін берілген жылдарға келесі параметрлер таңдап алынды: жауын-шашынның орташа жылдық мөлшері, вегетация кезеңіндегі орташа жауын-шашын мөлшері, жылдық ағынды, вегетация кезеңіндегі ағынды. Көптеген модельденген жауын-шашынның мәндерінен аналогия әдісі бойынша орташа және вегетация кезеңіндегі мәндеріне жақын бірнеше жуық келетін мәндер таңдап алынады, және осы нөмірлерге сәйкес айлық ағынды гидрографы таңдалды. Жоғарыда атап өткеніміздей таңдалып алынған модельденген және бақыланған мәліметтердің бірнеше нұсқалары болуы мүмкін, яғни айлық ағындының модельденген гидрографы ретінде олардың орташа мәні алынды.

Суы мол 2010 жыл үшін бақыланған мәліметтер бойынша модельденген айлық ағындының бес нұсқасы алынды (15, 46, 194, 307, 335) және модельденген қатар ретінде бес нұсқаның орташасы қабылданды. 4 – ші кестеден көріп тұрғанымыздай ағындының орташа жылдық модельденген мәні бақыланған мәннен айырмашылығы 13,8 %, вегетациялық кезеңде – 20,6 % құраған. Суы тапшы 1974 жыл бойынша модельденген мәннің нақты мәннен айырмашылығы орташа жылдық кезең үшін – 17,9 %, вегетациялық кезең үшін – 17,7 %. Суы орташа 2015 жыл үшін таңдалынып алынған алты модельденген қатардың орташасы бақыланған жылдық мәліметтерден 11,1 % және вегетациялық кезеңде 14,1 % ауытқыған. Айырмашылық пайыздары есептік дәлдік шегінде жатыр. Айлық ағынды гидрографтарының тексеру нәтижелері төмендегі суретте көрсетілген.

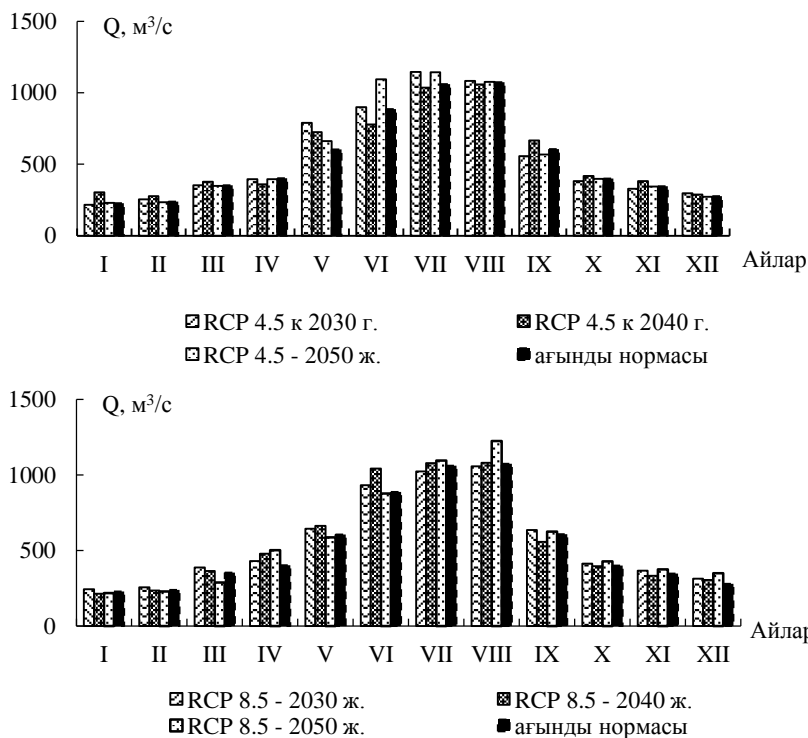
Осылайша, канондық жіктеу әдісімен модельденген ағынды және жауын-шашын қатары бақыланған мәнге жақын, авто және өзара корреляциялық матрицаны сақтайды. Яғни канондық жіктеу әдісін климаттың заманауи өзгерісін ескере отырып өзен ағындысын ұзақ мерзімдік кезеңге болжам жасауға болады. Мұндай болжамдардың ұзақтығы мен сапасы метеорологиялық параметрлердің ұзақ мерзімдік болжамдарына байланысты болады.



Сурет 1. Іле өзенінің (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) айлық ағынды гидрографы: а) – суы мол жыл (2010 ж.); б) – суы орташа жыл (2015 ж.); в) суы тапшы жыл (1974 ж.) - бақыланған мәндер; --- модельденген мәндер.

Климат өзгеруінің әртүрлі сценарийлері негізінде өзен ағындысының ұзақ мерзімдік болжамы үшін кіріс параметрі ретінде Климаттың өзгеруі жөніндегі мемлекетаралық топтың (КӨЖМП) бесінші есебі бойынша әлемдік климат модельдерінің көмегімен жасалған жауын-

шашынның мәндері алынды. Қолданылатын жауын-шашынның мәндері RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040, 2050 жылдарға алынды. Базалық кезең ретінде 1981...2000 жж. қабылданды.



Сурет 2. Канондық жіктеу әдісі бойынша Іле өзенінің (Қапшағай су бөгенінен 164 км жоғары) 2030...2050 жж. ағынды гидрографының болжамы.

Канондық жіктеу әдісімен модельденген жауын-шашын мәндерінен RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040, 2050 жылдарға модельденген жауын-шашын мәніне жақын бірнеше нұсқа таңдалып, канондық жіктеу әдесі бойынша жауын-шашынның белгілі бір жылдарға (2030, 2040, 2050) орташаланған болжамдық мәні табылады. Болжамдық жауын-шашынның реттік нөміріне сәйкес ағынды гидрографының болжамы алынады, яғни айлық өзен ағындысының келешектегі сценарлық болжамы. Канондық әдіс бойынша алынған Іле өзенінің RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша 2030, 2040, 2050 жылдарға арналған сценарлық болжамы төмендегі суретте көрсетілген (сурет 2).

Өзен ағындысының жылылық өзгерісінің болжамына сәйкес қарастырылып отырған өзенде 2030, 2040 және 2050 жылдарға қарай айлық

ағынды мәндері кейбір айларда өсуі немесе азаюы байқалады. 2030 жылға қарай RCP 4.5 климаттық сценарийі бойынша күзгі айларда (қыркүйек-қараша) 8 % дейін азаю мүмкін, ал басқа айларында керісінше 30 % (мамыр) дейін өсуі, ал 2040 жылға қарай су тасу кезеңінде ағынды мөлшері 12 % азаюы күтілуде. RCP 8.5 климаттық сценарийі бойынша 2030 жылы шілде мен тамыз айынан басқа айларда ағындының көбеюі байқалады. Қорытындылай келе, Іле өзенінің өзен ағындысының гидрограф формасы 2030...2050 жж. дейінгі болжамға сәйкес өте үлкен өзгеріске ұшырамайды, тек жыл ішіндегі өзгерістер, атап айтқанда су тасу кезеңінің шыңы алдыңғы немесе артқы айларға жылжуы, күзгі және қысқы ағындының аз ғана өзгеруі күтілуде. Егер де ағындының болжамдық жылдық мәнін қарастыратын болсақ, RCP 4.5 және RCP 8.5 сценарийлері бойынша өзен ағындысы 16 % дейін өседі.

ӘДЕТИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бельчиков В.А., Полунин А.Я., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Поливариантное оценивание возможных климатических изменений речного стока на примере бассейна Северной Двины // Метеорология и Гидрология. – 2009. – №3. – С.74–84
2. Болгов М.В. Стохастические модели периодически коррелированных внутригодовых колебаний речного стока // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 1. – С. 101-116.
3. Бусалаев И.В., Давлетгалиев С.К., Куперман И.Г. Применение метода канонического разложения для моделирования речного стока // Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства // Алматы, Наука. – 1973. – Вып.10. – С.143-152.
4. Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В. Гидрологические прогнозы. - РГГМУ, 2007. – 427 с.
5. Давлетгалиев С.К. Совместное моделирование рядов годового стока рек методом канонического разложения // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 10. – С. 102-108.
6. Давлетгалиев С. К. Групповое моделирование гидрографов месячного стока // Водные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 350-358.
7. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О приемах исследования случайных колебаний речного стока // Труды НИУ ГУГМС. – 1946. – Вып.29. – С.3-32.

8. Леонов Е.А. Космос и сверхдолгосрочный гидрологический прогноз. – СПб.: Алтея, Наука, 2010. – 352 с.
9. МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, 2013. –163 с.
10. Морейдо В.М. Построение долгосрочного ансамблевого прогноза притока воды в Чебоксарское водохранилище // Труды Всероссийской научной конференции «Научное обоснование реализации Водной стратегии Российской Федерации» на период до 2020 г. – Петрозаводск, 2015. – С. 180-186.
11. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962. – 884 с.
12. Резниковский А.Ш., Великанов М.А. Статистическое моделирование многомерных гидрологических процессов // Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 52-57.
13. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 293 с.
14. Фролов А.В., Выручалкина Т.Ю., Соломонова И.В. Моделирование негаусова векторного процесса в приложении к гидрологии // Водные ресурсы – 2014. – №6. – С. 559-564.
15. Kuzin V.I., Lapteva N.A. Modeling of simulation of the river runoff in the Ob-Irtysh Basin. Bull. Novosib. Comput. Cent. Ser. Number Model. Atmos., Ocean and Environ. – Study 2014. – №14. – P. 35-39.
16. Nageshwar R. B., Elbert E. Whitlatch. Jr. Application of the HEC-4 monthly stream-flow simulation model // Water Resour. Bulletin.1980. – Vol. 16. N 4. – 587 p.

Қабылданды 09.05.2019

Доктор геогр. наук
Канд. геогр. наук

С.К. Давлеткалиев
С.К. Алимкулов
Э.К. Талипова

ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГИДРОГРАФА МЕСЯЧНОГО СТОКА Р. ИЛЕ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА И ОСАДКОВ

Ключевые слова: статистическое моделирование, каноническое разложение, месячный сток, гидрограф стока, атмосферные осадки, долгосрочный прогноз речного стока, корреляционная матрица.

В статье показана возможность совместного моделирования значений месячного стока и атмосферных осадков с методом канонического разложения. Для проверки качества моделирования, полученные смоделированные данные средних значений осадков и стока, коэффициенты вариации и асимметрии, авто и взаимная корреляция сравнивались с фактическими данными. С помощью смоделированных значений стокообразующих факторов дан долгосрочный прогноз речного стока на основе различных сценариев изменения климата.

S. K. Davletgaliev, S. K. Alimkulov, E. K. Talipova

LONG-TERM FORECAST OF THE MONTHLY FLOW HYDROGRAPH OF ILE RIVER BASED ON JOINT STATISTICAL MODELING OF FLOW AND PRECIPITATION

Keywords: statistical modeling, canonical decomposition, monthly flow, flow hydrograph, atmospheric precipitation, long-term forecast of river flow, correlation matrix.

The article shows the possibility of a joint modeling of the values of monthly flow and atmospheric precipitation with the method of canonical decomposition. For modeling quality verification, modeled data of mean precipitation and flow values, coefficients of variation and asymmetry, auto and mutual correlation were compared with actual data. The long-term forecast of river flow based on various climate change scenarios is given using the modeled values of the flow-forming factors.