

УДК 556.16.06"405:321"(235.216)

**ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДНОСТИ ГОРНЫХ
РЕК ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА НА ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО
Половодья**

В. П. Попова

Излагаются методики долгосрочного прогноза водности рек Южного Казахстана на период весеннего половодья, разработанные на основе использования модели формирования стока горных рек и регрессионных схем. Приведены результаты оценки разработанных методик.

Южный Казахстан - территория с засушливым климатом, ограниченными, но в то же время широко используемыми на орошение водными ресурсами. Поэтому долгосрочное прогнозирование стока рек этого региона всегда имеет важное значение. Актуальность его возрастает и в связи с катастрофическим усыханием Аральского моря.

Данная работа посвящена результатам разработки методик долгосрочного прогноза водности рек Арысь, Бугунь, Келес, Бадам, Шаян с использованием модели формирования стока, созданной в КазНИГМИ (ныне КазНИИМОСК) [1]. Эта разработка является продолжением аналогичных исследований для рек региона, начатых автором ранее и опубликованных в [3]. Модель КазНИГМИ успешно применялась также для прогноза стока рек северного склона Джунгарского Алатау [7], Черного Иртыша [5] и притока воды в Бухтарминское [4], Шульбинское [2] и Капчагайское [6] водохранилища.

Реки Арысь, Бадам, Келес, Бугунь, Шаян расположены в правобережной казахстанской части бассейна Сырдарьи. Их сток формируется в основном за

счет поступления талых снеговых вод с юго-западного склона хр.Каратау (левые притоки Арыси, рр.Бугунь и Шаян) и западных отрогов Таласского Алатау (р.Келес, правые притоки Арыси, в том числе и р.Бадам). Большая часть годовой суммы осадков в бассейнах рек выпадает в зимне-весенний период. Снежный покров в низкогорных зонах неустойчивый, сохраняется в течение холодного времени года лишь на склонах северной экспозиции. Доля дождевого и подземного, а на р.Арысь и ледникового питания в стоке рек значительно меньше, чем талых вод. На остальных реках ледниковое питание отсутствует. Преобладающая часть стока приходится на весну.

Для адаптации модели формирования стока к условиям рассматриваемых бассейнов оценивались параметры моделей промерзания и оттаивания почвогрунтов, формирования снегозапасов, определялись градиенты осадков и температур воздуха по высоте местности, их динамика внутри года, гидрографические характеристики бассейнов. Причем, поскольку снегонакопление в условиях Южного Казахстана существенно отличается на склонах разных экспозиций, распределение площадей по высотным зонам для каждой из них находилось отдельно. Методики долгосрочного прогноза водности рек разрабатывались по восстановленным значениям стока за следующие периоды: р.Арысь-ж.-д.ст.Арысь-1953-1984 гг.; р.Бадам-с.Михайловка - 1966-1985 гг.; р.Бугунь-с.Красный Мост - 1967-1985 гг.; р.Келес-аул Акжар 1961-1985 гг.; р.Шаян-в 3,3 км ниже устья р.Акбет 1954-1985 гг.

Методики долгосрочного прогноза естественного стока на период половодья представляет собой регрессионные схемы, в которых в качестве предикторов используются моделированные значения снегозапасов, поступления воды на поверхность водосбора, влагозапасы и глубина промерзания почвогрунтов, а также предшествующая водность и характеристики атмосферной циркуляции. Прогностические уравнения имеют следующий общий вид:

$$X_0 = a_0 + a_{01}X_1 + a_{02}X_2 + a_{03}X_3,$$

где X_0 - предиктант; a_0 - свободный член уравнения; a_{01} , a_{02} , a_{03} - коэффициенты регрессии; X_1 , X_2 , X_3 - предикторы.

Значения отобранных предикторов X_1 , X_2 , X_3 для каждого календарного периода, на который прогнозируется водность рек, приведены в приложении, значения коэффициентов a_0 , a_{01} , a_{02} , a_{03} - в табл.1.

Таблица 1

Значения коэффициентов регрессии прогностических уравнений

Прогнозируемый период	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_0
р. Арысь - ж.-д. ст. Арысь				
Половодье	105,0	0,62		16,5
Февраль	0,26	- 2,48	0,18	141
Март	0,28	0,15		29,0
Апрель	0,60	0,04		- 42,9
Май	223,0	0,15		- 32,4
Июнь	0,31	1,0		- 167
р. Бадам - с. Михайловка				
Половодье	0,06	1,38		- 0,68
Февраль	0,61	0,03		2,99
Март	0,07	0,13		- 11,4
Апрель	12,1	0,46		5,22
Май	0,03	0,22	0,07	- 6,0
Июнь	0,41	0,53		- 41,0
р. Бугунь - с. Красный Мост				
Половодье	0,13	1,04		- 8,27
Февраль	1,21			2,18
Март	0,35	1,60		- 133
Апрель	0,17	0,32		43,9
Май	0,05	0,61		- 4,61
Июнь	0,42	- 0,13		0,22

Продолжение табл. 1

Прогнозируемый период	a_{01}	a_{02}	a_{03}	a_0
р.Келес - аул Акжар				
Половодье	1,85	0,10		- 4,66
Февраль	1,15	0,03		- 1,73
Март	7,93	0,12		- 1,95
Апрель	0,10	0,44		- 10,3
Май	0,05	0,27		- 4,04
Июнь	0,35	- 0,13		11,0
р.Шаян - в 3,3 км ниже устья р.Акбет				
Половодье	0,05	1,80		0,42
Февраль	7,02	0,06		- 0,17
Март	0,05	14,4		- 3,30
Апрель	0,04	5,48		- 2,90
Май	0,76	0,01		- 2,08
Июнь	0,33			0,14

Поступление воды, оставшиеся снеготпасы, продуктивные влагозапасы и льдистость почвогрунтов определялись путем моделирования. Моделирование осуществлялось по среднесуточным температурам воздуха и суточным суммам осадков, измеренным на метеорологических станциях Тасарык (1122 м), Ванновка (899 м), Шымкент (543 м), Ленинское (575 м), Шаян (366 м). Данные по станциям Тасарык, Ванновка, Шымкент использовались для бассейна Арыси, по станциям Тасарык и Шымкент - для бассейна р.Бадам, по станции Ленинское - для бассейна р.Келес, по станции Шаян - для бассейнов рек Бугунь и Шаян.

Проверка надежности полученных зависимостей производилась путем оценки коэффициентов регрессии в прогностических уравнениях, коэффициентов множественной корреляции, а также определения устойчивости уравнений в целом с помощью критериев Фишера и Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Точность и эффективность разработанных методик долгосрочного прогноза естественного стока

оценивалась согласно Наставлению по службе прогнозов [5]. Результаты оценки приведены в табл.2. Средняя оправдываемость прогнозов по зависимой выборке составила 78 %, по независимой - 72 %. В независимую выборку включались следующие годы: для р.Арысь до ж.-д.ст.Арысь - 1985-1992 гг.; для р.Бадам до с.Михайловка - 1986-1992 гг.; для р.Бугунь до с.Красный Мост - 1966, 1986-1992 гг.; для р.Келес до аула Акжар - 1960, 1986-1992 гг.; для р.Шаян в 3,3 км ниже устья р.Акбет - 1951-1953, 1986-1992 гг.

Таблица 2

Результаты оценки точности и эффективности разработанных методик

Прогнозируемый период	Зависимая выборка				Обеспеченность p по независимой выборке, %
	R	$S, м^3/с$	$S/б$	$P, \%$	
	р.Арысь - ж.-д.ст.Арысь				
Половодье	0,72	25,8	0,71	75	100
Февраль	0,78	10,7	0,66	78	75
Март	0,68	33,0	0,76	72	50
Апрель	0,75	44,2	0,69	81	91
Май	0,82	26,8	0,60	81	73
	р.Бадам - с.Михайловка				
Половодье	0,88	1,93	0,51	80	86
Февраль	0,80	1,10	0,68	80	71
Март	0,76	2,47	0,70	80	90
Апрель	0,88	3,12	0,50	93	70
Май	0,88	2,96	0,51	90	50
	р.Бугунь - с.Красный Мост				
Половодье	0,84	3,69	0,58	84	75
Февраль	0,80	2,78	0,62	74	63
Март	0,84	8,04	0,57	74	63
Апрель	0,86	5,44	0,55	74	75
Май	0,80	2,67	0,64	74	100

Прогнозируемый период	Зависимая выборка				Обеспеченность P по независимой выборке, %
	R	$S, \text{м}^3/\text{с}$	S/δ	$P, \%$	
р.Келес - с.Степное					
Половодье	0,74	3,70	0,70	84	75
Февраль	0,89	1,04	0,46	88	75
Март	0,78	3,96	0,66	84	50
Апрель	0,87	4,42	0,51	80	88
Май	0,80	4,23	0,63	72	50
р.Шаян - в 3,3 км ниже устья р.Акбет					
Половодье	0,78	1,65	0,65	75	70
Февраль	0,75	1,37	0,69	72	50
Март	0,72	3,39	0,73	72	80
Апрель	0,65	4,17	0,79	69	80
Май	0,74	0,97	0,69	69	80

Оценки, приведенные в табл.2, позволяют отметить, что разработанные методики, характеризуются удовлетворительными показателями качества. На основании этого можно сделать вывод об их достоверности и возможности использования для прогнозирования естественного стока рек Арысь, Бадам, Бугунь, Келес, Шаян как на период половодья в целом, так и на отдельные месяцы внутри его.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубцов В.В., Ли В.И., Строева Т.П. Использование модели формирования стока горных рек для разработки метода его долгосрочного прогноза // Тр. 5-го Всесоюзного гидрологического съезда. - 1989. - Т.7. - С.111-117.
2. Голубцов В.В., Попова В.П. Прогноз притока воды в Шульбинское водохранилище // Тр.КазНИГМИ. - 1989. - Вып.104. - С.42-47.
3. Кучменко А.А., Попова В.П. О методике прогноза стока рек северо-западного склона Таласского Алатау // Тр.КазНИГМИ. - 1991. - Вып.107. - С.156-162.

4. Ли В.И. Результаты использования математической модели формирования стока при разработке метода долгосрочного прогноза притока воды в Бухтарминское водохранилище за кварталы и месяцы // Тр.КазНИИ Госкомгидромета. - 1987. - Вып.97. - С.3-7.
5. Наставление по службе прогнозов. - Раздел 3, Служба гидрологических прогнозов. - Ч.1. Прогнозы режима вод суши. - Л.: Гидрометеоиздат, 1962. - 193 с.
6. Некипелова Л.К. Методика долгосрочного прогноза притока воды в Капчагайское водохранилище на различные календарные периоды // Тр. КазНИГМИ. - 1989. - Вып.104. - С.29-42.
7. Строева Т.П. К вопросу о прогнозировании водности рек северного склона Джунгарского Алатау (на примере р.Каратал и ее притоков) // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1991.- Вып.107. - С.148-156.

Приложение

Перечень предикторов, включенных в прогностические уравнения

Прогнозируемый период	Обозначение и название предиктора
	р.Арысь - ж.-д.ст.Арысь
Половодье	X_1 - объем оставшихся снегозапасов на северной экспозиции на 20.01 в зоне высот 3400-3600 м, млрд м ³
	X_2 - бытовой сток за первую декаду января, м ³ /с
Февраль	X_1 - суммарное поступление воды на поверхность бассейна на 20.01 в зонах, расположенных выше 400 м, млн м ³

Прогнозируемый период	Обозначение и название предиктора
Март	X_2 - продуктивные влагозапасы на 30.11 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-100 см в зоне высот 3600-3800 м, мм
	X_3 - бытовой сток за вторую декаду января, м ³ /с
	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Ванновка за период 1.12-10.02, мм
Апрель	X_2 - объем оставшихся снегозапасов в бассейне на 20.02, млрд м ³
	X_1 - объем оставшихся снегозапасов на северной экспозиции в зоне высот 3400-3600 м на 20.03, млрд м ³
Май	X_2 - сумма осадков по данным метеорологической станции Тасарык за период 1.12-20.03, мм
	X_1 - объем оставшихся снегозапасов на северной экспозиции в зоне высот 3400-3600 м на 20.03, млрд м ³
	X_2 - бытовой сток за вторую декаду апреля, м ³ /с
	X_3 - сумма осадков по данным метеорологической станции Тасарык за период 1.12-20.03, мм
р.Бадам - с.Михайловка	
Половодье	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шымкент за период 1.12-20.01, мм
	X_2 - бытовой сток за вторую декаду января, м ³ /с
Февраль	X_1 - бытовой сток за вторую декаду января, м ³ /с

Прогнозируемый период	Обозначение и название предиктора
Март	X_2 - продуктивные влагозапасы на 30.11 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 2200-2400 м, мм
	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шымкент за период 1.12-20.01, мм
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 30.11 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 2000-2200 м, мм
Апрель	X_1 - объем оставшихся снегозапасов на северной экспозиции в зоне высот 2600-2800 м на 20.03, млрд м ³
	X_2 - бытовой сток за вторую декаду марта, м ³ /с
Май	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Тасарык за период 1.12-20.04, мм
	X_2 - бытовой сток за вторую декаду апреля, м ³ /с
р.Бугунь - с.Красный Мост	
Половодье	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шаян за период 1.11- 20.01, мм
	X_2 - объем оставшихся снегозапасов на 20.01 в зонах выше 300 м, млрд м ³
Февраль	X_1 - бытовой сток за вторую декаду января, м ³ /с
Март	X_1 - объем оставшихся снегозапасов на 20.02 в зонах ниже 500 м, млрд м ³
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 20.02 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 400-500 м, мм

Прогнозируемый период	Обозначение и название предиктора
Апрель	X_1 - объем оставшихся снеготазпасов на 20.03 в зонах высот ниже 1250 м, млрд м ³
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 20.03 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-100 см в зоне высот 300-400 м, мм
Май	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шаян за период 1.12- 20.04, мм
	X_2 - объем оставшихся снеготазпасов на северной экспозиции в зоне высот 700-800 м на 20.03, млрд м ³
р.Келес - аул Акжар	
Половодье	X_1 - бытовой сток за вторую декаду января, м ³ /с
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 30.11 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 1100-1300 м, мм
Февраль	X_1 - бытовой сток за вторую декаду января, м ³ /с
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 30.11 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 1900-2100 м, мм
Март	X_1 - объем оставшихся снеготазпасов на северной экспозиции в зоне высот 500-700 м на 20.02, млрд м ³
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 30.11 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 1100-1300 м, мм

Прогнозируемый период	Обозначение и название предиктора
Апрель	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Ленинское за период 1.12- 20.03, мм
	X_2 - бытовой сток за вторую декаду марта, м ³ /с
Май	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Ленинское за период 1.12- 20.04, мм
	X_2 - бытовой сток за вторую декаду апреля, м ³ /с
р.Шаян - в 3,3 км ниже устья р.Акбет	
Половодье	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шаян за период 1.11- 20.01, мм
	X_2 - поступление воды на поверхность бассейна в пределах высотной зоны 1100 - 1200 м на 20.01, млрд м ³
Февраль	X_1 - поступление воды на поверхность бассейна в зоне высот 400-500 м на 20.01, млрд м ³
	X_2 - количество дней с атмосферной циркуляцией типа Е по Вангенгейму за период 1.09-31.10, сут.
Март	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шаян за период 1.11- 20.01, мм
	X_2 - льдистость почвогрунтов на северной экспозиции в пределах высотной зоны 700- 800 м на 20.02, м
Апрель	X_1 - сумма осадков по данным метеорологической станции Шаян за период 1.11- 10.03, мм

Прогнозируемый период	Обозначение и название предиктора
Май	X_2 - объем оставшихся снеготпасов на северной экспозиции в зоне высот 1000-1100 м на 20.02, млрд м ³
	X_1 - суммарное поступление воды на поверхность бассейна в зонах с высотами более 400-500 м на 20.04, млрд м ³
	X_2 - продуктивные влагозапасы на 20.03 на северной экспозиции в слое почвогрунтов 0-50 см в зоне высот 1100-1200 м, мм

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

КӨКТЕМГІ ТАСҚЫН КЕЗІНДЕГІ ОҢТҮСТІК
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ТАУ ӨЗЕНДЕРІ
СУЫН ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ БОЛЖАУ

В.П. Попова

Тау өзендері ағысының қалыптасуы моделдерін және регрессиялық схемасын пайдалану негізінде жасалған көктемгі тасқын кезеңінде Оңтүстік Қазақстандағы тау өзендері суын ұзақ мерзімді болжау әдістері таратылады. Жасалған әдістің нәтижелі бағасы көрсетіледі.