

УДК 556:626

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ КРУПНЫХ РЕК, ВПАДАЮЩИХ В ОЗЕРО СЕВАН**Л.Р. Варданян¹, Л.В. Азизян¹, Е.П. Ероян², Г.А. Овасапян²**¹*Государственная служба Армении по гидрометеорологии и мониторингу*²*Гидравлическая лаборатория Института водных проблем и гидротехники им. академика И.В. Егиазарова*

Величина стока весеннего половодья рек, впадающих в озеро Севан, имеет решающую роль в повышении уровня озера. Исходя из этого, разработана методика прогнозирования величин стока весеннего половодья рек, впадающих в озеро. В частности, проведено прогнозирование стока весеннего половодья 12 рек, впадающих в озеро. Все разработанные многофакторные корреляционные связи применимы для составления прогнозов. С помощью этих уравнений составлены проверочные прогнозы. Показано, что во всех случаях соотношение фактических и расчетных величин стока весенних половодий достаточно тесное.

Ключевые слова: весеннее половодье, объем стока, атмосферные осадки, температура воздуха, корреляционные связи, коэффициент корреляции.

Введение. Бассейн оз. Севан представляет собой тектоническую впадину, которая имеет вид треугольника, ограниченного горными хребтами. Высота окружающих горных хребтов колеблется от 500 до 1800 м над уровнем озера. Бассейн характеризуется континентальным горностепным климатом. Прибрежная зона оз. Севан характеризуется умеренным климатом. В самом теплом месяце средняя температура колеблется от 8,8 до 17,6 °С, а в самом холодном месяце - от -4,6 до -12,3 °С. Среднегодовая температура колеблется от -2,3 до 6,4 °С.

Орографические особенности исследуемого района оказывают большое влияние на территориальное распределение атмосферных осадков в пределах от 386 до 857 мм; максимальное количество осадков (40...50%) наблюдается весной, главным образом - в мае, а минимальное (10...15%) - зимой.

Как и в других горных районах, в бассейне оз. Севан величина суммарного испарения с высотой уменьшается от 350 до 200 мм.

Физико-географические и климатические условия определяют уникальность гидрологии бассейна озера. Характер образования природных вод и формирования стока, а также гидрологический режим водных объектов, рек и родников в разных частях бассейна неодинаков.

Сток рек формируется в основном на высоте 2400...2600 м, где суммарные осадки значительно превышают испарение от почвы. Здесь замечается закономерность увеличения стока от средней высоты водосбора. Реки значительно отличаются между собой также по характеру и степени извилистости своих русел.

Отличительные черты гидрогеологических условий в сочетании с климатическими условиями оставили свой отпечаток на водном режиме значительной части рек. Благодаря большому разнообразию как климатических, так геологических и гидрогеологических условий часть рек бассейна имеет питание от снеговых вод, другая часть - из подземных вод. В общем, как свойственно горным рекам, питание рек бассейна смешанное.

Притоки Севана относятся к рекам с весенним половодьем, на которых годовой ход стока характеризуется двумя максимумами - весной и осенью и двумя минимумами - летом и зимой. Для большинства рек бассейна озера весеннее половодье является одной из основных фаз водного режима. В формировании этой фазы участвуют как талые (снеговые), так и подземные воды.

В период весеннего половодья формируется 30...75% годового стока. Фазы весеннего половодья на разных реках отличаются друг от друга по причине отличия источников питания и разнообразия взаимосвязанности поверхностного и подземного стоков. Относительно большим объемом стока весеннего половодья отличаются реки, берущие начало на склонах Арегунийского и Севанского хребтов, а также реки Варденис, Арцванист, Мартуни, Аргичи, которые имеют, в основном, снеговое и дождевое питание. Относительно малым объемом весеннего половодья (25...30% от годового стока) отличаются реки Масрик, Карчахбюр, Цаккар, Гаварагет, сток которых сильно регулируется подземным питанием.

На реках бассейна максимальные расходы, как правило, наблюдаются в период весеннего половодья. Имеет место закономерность формирования максимального расхода в период бурного снеготаяния. Иногда к этому прибавляются воды проливных дождей. Средний модуль максимальных расходов относительно мал на реках с подземным питанием, где этот модуль всего в 3...4 раза превышает средний модуль годового стока. Например, для рек Гаварагет и Карчахбюр это превышение составляет 4,5 раза, для р. Масрик - 1,7 и т.д. (табл. 1).

Уровень воды на реках бассейна в зависимости от максимальных расходов сильно колеблется. Так, на р. Драхтик средняя величина колебания уровня составляет 51 см, максимальная - 192 см (в год максимальной водности - 1979 г.), минимальная - 16 см. Максимальным расходам сопутствуют сели,

особенно на южных склонах Арегунийского и Севанского хребтов. Частота селей здесь высокая, раз в 3...4 года [1, 2].

Таблица 1

Основные характеристики весеннего половодья

№	Река	Пункт	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Характеристик	Дата		Продолжительность половодья, сут.	Суммарный слой стока за половодье, мм	Макс. расход		Сток за половодье, % от годового
						Начало половодья	Окончание половодья			м ³ /с	л/с.км ²	
1	Дзыкнагет	Цовагюх	85,0	2220	Ср.	27.03	22.06	88	302	13.6	160	76
					Max	25.02	18.05	121	655	46.4	546	90
					Min	26.04	13.07	55	82.0	-	-	49
2	Драхтик	Драхтик	39,2	2270	Ср.	25.03	20.06	88	90.0	6.20	158	60
					Max	05.03	24.05	136	160	46.7	1191	82
					Min	09.04	17.07	58	21.0	-	-	27
3	Масрик	Цовак	673	2310	Ср.	31.03	17.06	80	53	6.73	10.0	32
					Max	01.03	10.05	126	114	20.4	30.3	55
					Min	21.04	19.07	44	16	-	-	7
4	Карчакшор	Карчакшор	116	2650	Ср.	21.03	16.06	79	107	5.49	47.3	36
					Max	16.03	20.05	111	206	15.4	133	59
					Min	05.06	20.07	39	33	-	-	17
5	Арцванист	Арцванист	79,8	2540	Ср.	05.04	21.06	78	82	3.50	43.9	50
					Max	08.03	24.05	117	234	15.3	192	76
					Min	01.05	13.07	32	29	-	-	19
6	Варденис	Варденик	110	2760	Ср.	07.04	08.07	93	310	12.1	110	63
					Max	21.02	31.05	150	564	22.7	206	81
					Min	01.05	08.08	42	61	-	-	41
7	Мартуни	Геховит	84,5	2760	Ср.	06.04	24.07	94	410	15.1	179	60
					Max	02.03	02.06	131	952	26.7	316	79
					Min	02.05	06.08	42	132	-	-	25
8	Аргичи	В.Геташен	366	2470	Ср.	02.04	01.07	89	327	65.4	179	68
					Max	09.03	31.05	154	832	265	724	86
					Min	30.04	29.07	53	136	-	-	48
9	Бахтак	Цаккар	144	2570	Ср.	09.04	18.06	71	113	12.7	88.2	75
					Max	20.03	24.05	110	227	31.5	219	97
					Min	03.05	15.07	29	38	-	-	19
10	Шогвак	Дзоргюх	59,0	2650	Ср.	09.04	21.06	74	154	5.12	86.8	62
					Max	13.03	10.05	121	337	18.2	308	81
					Min	06.05	17.07	33	58	-	-	37

Величина стока рек, впадающих в озеро Севан в период весеннего половодья, имеет решающую роль в повышении уровня озера Севан. Исходя из

этого, целью настоящей работы является разработка методики прогнозирования величин стока рек, впадающих в озеро в период весеннего половодья.

Методические основы прогноза стока горных рек. Общей теоретической основой долгосрочных прогнозов стока горной реки является уравнение водного баланса речного бассейна. Это уравнение для весенне-летнего периода можно записать в виде

$$Y = Y_T + Y_{nz} = \sum_{i=1}^n S_i f_i + \sum_{i=1}^n X_{1,i} f_i + \sum_{i=1}^n X_{2,i} f_i + h_T f_l - \left(\sum_{i=1}^n E_{c,i} f_i + \sum_{i=1}^n E_{n,i} f_i \right) \pm \Delta_{ГР} \pm \Delta_{П} \pm \Delta_{ПГ}, \quad (1)$$

где Y - сток за весенне-летний период; Y_T - сток талых вод; Y_{nz} - устойчивый подземный сток; S_i - запасы воды в снежном покрове в i -й высотной зоне к началу снеготаяния; n - число высотных зон; X_1 - количество осадков за время снеготаяния на поверхность снега; X_2 - количество осадков за период от момента схода снега до окончания весенне-летнего периода; h_T - слой стаивания с площади, занятой ледниками и вечными снегами; f_l - площади ледников и снежников, освободившиеся от сезонного снега; E_c - испарение со снежного покрова (за вычетом конденсации); E_n - испарение с поверхности почвы; f_i - площади высотных зон; $\Delta_{ГР}$ - изменение запасов грунтовых вод, расположенных выше слоев, формирующих базисный сток; $\Delta_{П}$ - изменение запасов подземных вод; $\Delta_{ПГ}$ - изменение запасов воды в почвогрунтах.

Уравнение (1) не учитывает подземного водообмена с соседними бассейнами, удержание части талой воды снежным покровом в областях с вечными снегами, аккумуляцию воды в руслах рек и др. Ряд членов уравнений измерить или определить путем расчета невозможно ($\Delta_{ГР}, \Delta_{П}, \Delta_{ПГ}$), поэтому на практике в настоящее время прогноз стока горных рек чаще всего осуществляется на основе приближенных корреляционных связей между стоком и обуславливающими его гидрометеорологическими факторами. Связи могут быть графического или аналитического вида. Основным фактором стокообразования во всех связях является накопление влаги в бассейне - сумма осадков за холодный период. Осадки, снегозапасы в условиях ограниченных пунктов наблюдений на горном бассейне характеризуются косвенными показателями или индексами.

Подобные зависимости для горных рек чаще всего имеют следующий вид:

$$Y_T = Y - Y_{ПЗ} = f[(S + X_1), X_2, W], \quad (2)$$

где Y_T - сток талых вод за расчетный период; S - запасы воды в снежном покрове к моменту выпуска прогноза; X_1 - осадки за время снеготаяния на поверхность снега; X_2 - осадки за период от момента схода снега до окончания расчетного периода; W - характеристика увлаженности бассейна к началу прогнозного периода [3, 4].

Для разработки методики прогнозирования стока весеннего половодья на реках использовались данные наблюдений о стоке (данные соответствующих речных постов на 12 реках), а также данные наблюдений температуры воздуха, атмосферных осадков с метеорологических станций Мартуни, Гавар, Севан, Раздан, Масрик, Шоржа, Безымянный перевал и Семеновка.

В результате для прогнозирования стока весеннего половодья на реках были получены следующие многофакторные корреляционные связи:

$$W_{IV-VI \text{ Дзжк.Цоваз.}} = -11,5 + 27,2Q_I - 2,85Q_{III} + 0,06 \sum X_{Разд.XI-III} - 0,04 \sum X_{Сев.XI-III} + \\ + 0,10 \sum X_{Идж.XII-III} + 11,9K_{Сев.IV-VI} - 2,09T_{Разд.I} + 1,72T_{Сев.III} - 1,51\Delta T_{Разд.IV}, \quad (3)$$

$$W_{IV-VI \text{ Драx.-Драx.}} = -5,23 + 0,003 \sum X_{Разд.VII-III} + 0,01 \sum X_{Идж.VII-III} + \\ + 0,01 \sum X_{Мср.IX-III} - 0,24T_{Мср.I} + 0,14T_{Мср.II} - 0,06T_{Мср.III}, \quad (4)$$

$$W_{IV-VI \text{ Мср.Цов.}} = -26,9 + 1,79Q_{III} + 0,05 \sum X_{Марм.VII-III} + 0,03 \sum X_{Сем.VIII-III} + \\ + 0,09 \sum X_{Мср.XI-III} + 16,5K_{Сем.IV-VI} - 2,63T_{Мср.I} + 3,09T_{Шрж.III} - 0,92\Delta T_{Мср.IV}, \quad (5)$$

$$W_{IV-VI \text{ Карч.Карч.}} = 13,2 + 3,79Q_I + 0,01 \sum X_{Шрж.IV-III} + 0,03 \sum X_{Мср.VII-III} + \\ + 4,46K_{Марм.IV-VI} + 0,79T_{Мср.I} - 1,76T_{Шрж.I} - 1,55T_{Мср.II} + 1,48T_{Шрж.II}, \quad (6)$$

$$W_{IV-VI \text{ Арц.Арц.}} = -9,22 + 0,01 \sum X_{Мср.VI-III} + 0,01 \sum X_{Джр.VI-III} + 0,04 \sum X_{Шрж.IX-III} + \\ + 0,02 \sum X_{Марм.X-III} + 0,43T_{Марм.I} + 0,73T_{Марм.II} - 0,81T_{Мср.II}, \quad (7)$$

$$W_{IV-VI \text{ Вард.Вард.}} = 4,07 + 2,30W_{I-III} + 0,06 \sum X_{Марм.VIII-III} + 0,05 \sum X_{Разд.XI-III} - 0,07 \sum X_{Сем.XI-III} + \\ + 6,94K_{Марм.IV-VI} + 1,04T_{Марм.I} - 0,49T_{Марм.II} - 0,92T_{Марм.III} - 1,82\Delta T_{Марм.IV}, \quad (8)$$

$$W_{IV-VI \text{ Марм.Гех.}} = 7,70 + 16,0Q_{III} + 0,04 \sum X_{\text{Марм.VIII-III}} + 0,03 \sum X_{\text{Без.пер.X-III}} + 0,07 \sum X_{\text{Разд.XI-III}} - (9) \\ - 0,08 \sum X_{\text{Джр.XI-III}} + 1,18T_{\text{Мер.I}} + 2,41T_{\text{Марм.III}} - 3,25T_{\text{Мер.III}} - 1,63\Delta T_{\text{Мер.IV}},$$

$$W_{IV-VI \text{ Арз.Гем.Вер.}} = -3,47 + 13,5Q_{II} - 12,4Q_{III} + 0,42 \sum X_{\text{Сем.XII-III}} + 0,22 \sum X_{\text{Марм.XII-III}} - (10) \\ - 0,15 \sum X_{\text{Гвр.XII-III}} + 33,3K_{\text{Марм.IV-VI}} - 11,1T_{\text{Марм.II}} + 7,20T_{\text{Гвр.II}},$$

$$W_{IV-VI \text{ Цахх.Бах.}} = 2,06 + 8,38Q_{II} - 12,4Q_{III} + 0,04 \sum X_{\text{Марм.IX-III}} - 0,02 \sum X_{\text{Джр.X-III}} + (11) \\ + 0,03 \sum X_{\text{Разд.XII-III}} + 13,0K_{\text{Разд.IV-VI}} + 1,30T_{\text{Разд.I}} - 0,88T_{\text{Марм.II}},$$

$$W_{IV-VI \text{ Бах.Цахх.}} = -6,17 + 0,02 \sum X_{\text{Марм.VIII-III}} + 0,03 \sum X_{\text{Без.Пер.VII-III}} + 0,01 \sum X_{\text{Гвр.VIII-III}} + \\ + 0,02 \sum X_{\text{Разд.X-III}} + 0,44T_{\text{Гвр.I}} + 0,81T_{\text{Гвр.II}} - 1,35T_{\text{Марм.II}} - 1,13\Delta T_{\text{Марм.IV}}, (12)$$

$$W_{IV-VI \text{ Шоэ.Дзор.}} = -8,05 + 0,02 \sum X_{\text{Марм.VII-III}} + 0,02 \sum X_{\text{Разд.VIII-III}} + 0,01 \sum X_{\text{Гвр.VIII-III}} - (13) \\ - 0,02 \sum X_{\text{Без.Пер.IX-III}} + 5,83K_{\text{Разд.IV-VI}} - 0,75\Delta T_{\text{Марм.IV}},$$

$$W_{IV-VI \text{ Гав.Нор.}} = 12,5 + 7,00Q_I - 13,0Q_{II} + 9,85Q_{III} - 0,02 \sum \tilde{X}_{\text{Сем.I-II}} + 0,05 \sum X_{\text{Разд.VIII-III}} + (14) \\ + 0,03 \sum X_{\text{Гвр.IX-III}} + 8,32K_{\text{Сем.IV-VI}} - 1,41T_{\text{Сев.III}},$$

где W_{IV-VI} - величина стока рек в период весеннего половодья (млн куб.м); Q - расход воды; $\sum X$ - сумма атмосферных осадков (мм); T - среднемесячная температура воздуха (индексом обозначен месяц); K - количество осадков, выраженное модульными коэффициентами (соотношение количества осадков за данный период к многолетней средней величине) за месяцы в индексах; ΔT - отклонение температуры воздуха за апрель месяц по отношению к норме; \tilde{X} - волнистая черта над буквами означает, что данные относятся к соответствующим месяцам прошлого года. В индексах буквами записаны названия станций. Характеристики полученных связей представлены в табл. 2.

Как видно из таблицы, согласно методическим указаниям по гидропрогнозам [5], все связи применимы для составления прогнозов.

Таблица 2

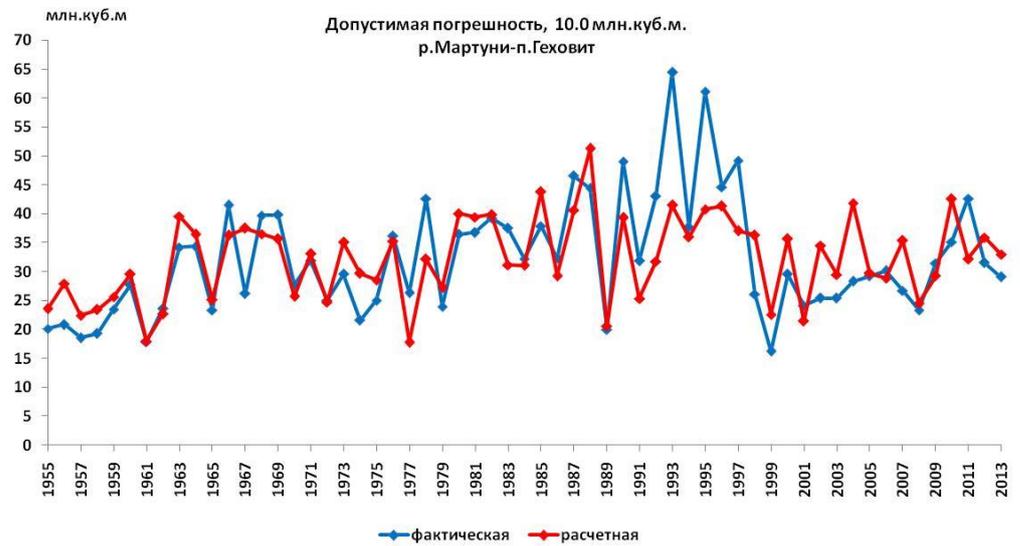
Характеристики многофакторных связей прогнозирования стока весенних половодий на реках, впадающих в озеро Севан

№	Река-пост	Коэффициент корреляции, R	$\bar{S}/\bar{\sigma}$	Обеспеченность метода, %
1	Дзыкнагет-Цовагюх	0,84	0,55	80
2	Драхтик-Драхтик	0,77	0,64	75
3	Масрик-Цовак	0,84	0,54	82
4	Карчахпюр- Карчахпюр	0,83	0,56	81
5	Арцванист - Арцванист	0,81	0,59	74
6	Варденис- Варденик	0,73	0,68	69
7	Мартуни-Геховит	0,81	0,59	83
8	Аргичи-В.Геташен	0,81	0,59	75
9	Цахкашен-Вахашен	0,84	0,54	86
10	Бахтак-Цаккар	0,85	0,53	80
11	Шогвак-Дзорагюх	0,81	0,59	80
12	Гаварагет- Норатус	0,72	0,69	68

С помощью уравнений (1), (7) и (8) были составлены проверочные прогнозы, а на рисунке представлено соотношение фактических и расчетных величин стока весенних половодий [6].



а)



б)



в)

Рис. Соотношение фактических и расчетных величин стока весенних половодий на реках: а - р.Дзыкнагет-п.Цовагюх, б - р.Мартуни-п.Геховит, в - р.Аргичи-п.В.Геташен

Как видно из рисунка, во всех случаях соотношение фактических и расчетных величин стока весенних половодий достаточно тесное.

Заключение. Применение прогностических многофакторных связей в условиях изменения климата имеет важное значение для оценки уязвимости водных ресурсов крупных рек, впадающих в озеро Севан, а следовательно, использования прогнозирования изменения водного баланса и уровня озера в перспективе.

Работа проведена в рамках темы “Научно-технические эскизные основы водно-ресурсного обеспечения перспективного повышения уровня озера Севан” (шифр 13-1E228).

Литература

1. **Мнацаканян Б.П.** Бассейн озера Севан (Природа, климат и воды).- Ереван: Асохик, 2007.- 190 с. (на арм. яз.).
2. **Чилингарян Л.А., Мнацаканян Б.П., Агабабян К.А., Токмаджян О.В.** Гидрография рек и озер Республики Армения.- Ереван: Агропрес, 2002. – 49 с. (на арм. яз.).
3. **Георгиевский Ю.М., Шаночкин С.В.** Гидрологические прогнозы: Учебник. - СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. - 436 с.
4. **Шагинян М.В.** Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования.- Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 176 с.
5. **Наставление по службе прогноза.** Разд. 3, ч.1. Прогнозы режима вод суши.- Л.: Гидрометеиздат, 1962. -193 с.
6. **Руководство по гидрологическим прогнозам.** Вып.1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ.- Л.: Гидрометеиздат, 1989.- 357 с.

*Поступила в редакцию 19.11.2014.
Принята к опубликованию 23.12.2014.*

**ՍԵՎԱՆԱ ԼԻՃԸ ԹԱՓՎՈՂ ԽՈՇՈՐ ԳԵՏԵՐԻ ԳԱՐՆԱՆԱՅԻՆ ՎԱՐԱՐՈՒՄՆԵՐԻ
ՀՈՍՔԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՈՒՄԸ**

Լ.Ռ. Վարդանյան, Լ.Վ. Ազիզյան, Ե.Պ. Երոյան, Գ.Հ. Հովասափյան

Մշակվել են Սևանա լճը թափվող 12 գետերի գարնանային վարարումների հոսքի մեծությունների կանխատեսման մեթոդիկաներ՝ հաշվի առնելով վարարումների ընթացքում լիճը թափվող գետերի հոսքերի մեծության որոշիչ նշանակությունը լճի մակարդակի բարձացման գործընթացում: Ստացված բազմագործոն բոլոր կապերը կիրառելի են կանխատեսումների իրականացման դեպքում: Այդ հավասարումներով կազմվել են ստուգողական կանխատեսումներ: Ցույց է տրված, որ բոլոր դեպքերում գարնանային վարարումների հոսքի փաստացի և հաշվարկային մեծությունների համադրությունները բավականին սերտ են:

Առանցքային բառեր. գարնանային վարարում, հոսքի ծավալ, մթնոլորտային տեղումներ, օդի ջերմաստիճան, կոռելյացիոն կապեր, կոռելյացիայի գործակից:

**FORECASTING THE SPRING FLOOD FLOW OF THE LARGE RIVERS
FLOWING INTO LAKE SEVAN**

L.R. Vardanyan, L.V. Azizyan, Ye.P. Yeroyan, G.H. Hovasapyan

The volume of spring flood flow of the rivers flowing into lake Sevan has a decisive role in raising the level of the lake. Based on this, a method for forecasting the volume of the spring flood flow of the rivers flowing into the lake is developed. In particular, prediction of the spring flood flow of 12 rivers flowing into the lake is carried out. All multifactor correlation links are applied for forecasting. Using these equations, checking forecasts are compiled. It is shown that in all cases, the ratio of real-time and calculated values of the spring flood flow is rather close.

Keywords: spring flood, flow volume, precipitation, air temperature, correlation links, coefficient of correlation.