

Г.Т. Никогосян, Г.А. Мелконян, К.А. Айрапетян  
 Армгосгидромет, Ереван

УДК 551

**ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СВОБОДНОГО СТОКА ОЗЕРА СЕВАН И ОЦЕНКА ЕГО УЯЗВИМОСТИ ПОД  
 ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

Озеро Севан относится к числу крупных высокогорных водоемов мира. В связи с тем, что площадь зеркала Севана до начала спуска его уровня составляла более сорока процентов водосборной площади, то его свободный сток составлял менее 10 % от приходной части водного баланса озера. Отметим, что свободный сток озера является разностью приходной и расходной частей водного баланса при неизменном уровне.

Высотное и командное расположение озера Севан над орошаемыми массивами Араратской долины и предгорных территорий Армении, а также возможность получения дешевой электроэнергии предопределили проблему использования его вековых запасов. С целью уменьшения бесцельных потерь воды на испарение и, следовательно, для увеличения свободного стока озера, в начале 30-ых годов прошлого века был составлен проект, согласно которому уровень Севана должен был быть спущен на 50 метров, в результате чего площадь зеркала озера уменьшилась бы в 6 раз, объем – в 16-17 раз, а свободный сток должен был увеличиться в 6-7 раз [1]. Осуществление данного проекта началось с конца 30-ых годов.

Использование вековых запасов вод озера Севан имело огромное значение в деле развития сельского хозяйства, промышленности, энергетики и других отраслей народного хозяйства республики. Однако, понижение уровня озера Севан имело и отрицательные последствия для самого озера. Несмотря на то, что вместе с уменьшением площади зеркала уменьшились испарение и подземный сток из озера и увеличился свободный сток, однако вследствие уменьшения глубины и объема воды нарушилось экологическое равновесие озера, ухудшилось качество воды, в несколько раз уменьшилось содержание кислорода в воде. Создались крайне неблагоприятные условия для фауны озера, в частности для жизненных условий форели. Для предотвращения или уменьшения отмеченных и других отрицательных последствий, связанных со спуском уровня, в конце 70-ых годов, когда уровень озера уже был спущен на 18 метров по сравнению с естественным уровнем, Правительством Армении было принято постановление о приостановлении дальнейшего спуска уровня и сохранении его на отмеченном уровне, а в дальнейшем его повышении на 6-7 метров.

Как было отмечено, величина свободного стока зависит от уровня стояния озера и из года в год изменяется в больших пределах [2,3]. Так, для естественного уровня амплитуда колебания годового значения свободного стока почти в 9,5 раз превышает его среднее многолетнее значение, для уровня на 6 метров ниже естественного амплитуда колебания больше в 5,5 раз, для уровня на 12 метров ниже эта цифра составляет 4,5, а для уровня на 18 метров ниже – 3,8. В связи с этим долгосрочный прогноз годового свободного стока озера, необходимого планирующим организациям, приобретает актуальное значение. Вопросами гидрологических прогнозов занимались Г.П. Калинин [4], Е.Г. Попов [5, 6], А.Н. Важнов [7], Б.А. Аполлов, Г.П. Калинин, В.Д. Комаров [8], Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин [9]. В деле разработки математических моделей с целью гидрологических расчетов и прогнозов важное значение имели работы Г.Г. Сванидзе [10-12]. Для условий Армении можно отметить работы О.А. Озерниковой [13], М.В. Шагинян [14], Г.Т. Никогосяна, Э.О. Оганесян [15].

Существует несколько методов прогнозирования стока, из которых основными являются: генетический, метод водного баланса и физико-статистический метод. Использование отмеченных двух первых методов связано с большими трудностями, т.к. оценка и расчет входящих в них нескольких параметров в настоящее время невозможно, поэтому целесообразно использовать физико-статистический метод прогноза стока, который дает возможность установить многофакторные корреляционные связи между стоком и обуславливающими климатическими факторами, которыми являются атмосферные осадки и температура воздуха.

Предпринята попытка прогнозировать годовую величину свободного стока озера Севан заблаговременностью в 6 месяцев. Для этой цели использованы данные об атмосферных осадках и температуре воздуха метеостанций Севан-ГМО, Гавар, Мартуни, Масрик и Шоржа, расположенных в бассейне озера, а также данные о годовых величинах свободного стока озера. Прогностические зависимости установлены для трех уровней – соответственно на 6, 12 и 18 метров ниже естественного уровня. Полученные прогностические уравнения представлены ниже.

$$W_{18} = 199 + 2,6 \tilde{Q}_{11} + 4,2 \tilde{Q}_{12} + 3,5 Q_1 + 0,6 Q_2 +$$

$$+ 2,0 Q_3 + 2,9 Q_4 + 2,0 Q_5 + 1,9 Q_6 - 4,6 \tilde{T}_{10} -$$

$$- 28,6 \tilde{T}_{11} + 7,5 \tilde{T}_{12} + 6,2 T_1 - 11,6 T_2 - 20,1 T_3 -$$

$$- 37,8 T_4 - 3,4 T_5 - 29,6 T_6, \quad (1)$$

$$W_{12} = 150 + 2,6 \tilde{Q}_{11} + 4,3 \tilde{Q}_{12} + 3,6 Q_1 +$$

$$+ 0,6 Q_2 + 2,1 Q_3 + 3,0 Q_4 + 2,1 Q_5 +$$

$$+ 1,9 Q_6 - 3,8 \tilde{T}_{10} - 29,1 \tilde{T}_{11} + 7,6 \tilde{T}_{12} +$$

$$+ 6,6 T_1 - 12,4 T_2 - 20,3 T_3 -$$

$$- 38,1 T_4 - 3,5 T_5 - 30,3 T_6, \quad (2)$$

$$W_6 = 100,8 + 2,6 \tilde{Q}_{11} + 4,3 \tilde{Q}_{12} + 3,6 Q_1 +$$

$$+ 0,5 Q_2 + 2,2 Q_3 + 3,1 Q_4 + 2,1 Q_5 + 2,0 Q_6 -$$

$$- 2,9 \tilde{T}_{10} - 29,7 \tilde{T}_{11} + 7,8 \tilde{T}_{12} + 7,0 T_1 -$$

$$- 13,2 T_2 - 20,4 T_3 - 38,4 T_4 - 3,7 T_5 - 31,0 T_6, \quad (3)$$

где  $W$  – свободный сток в млн  $m^3$ , а индексы при нем обозначают положение уровня стояния ниже естественного уровня,  $Q$  – атмосферные осадки, мм,  $T$  – температура воздуха,  $^{\circ}C$ . Индексы при  $Q$  и  $T$  показывают данный месяц, а волнистые черточки сверху относятся к соответствующему месяцу предыдущего года. Статистические характеристики уравнений (1) – (3) приведены в таблице 1.

Таблица 1 Характеристики прогностических связей свободного стока оз. Севан для разных уровней

Уровень озера, м	Свободный сток, млн $m^3$	Среднеквадр.откл. $\sigma$ , млн $m^3$	$S/\sigma$	Коэфф. коррел-ля-ции	Обеспеченность, %
На 6 м ниже естественного уровня	197	135	0,61	0,79	74
На 12 м ниже	233	132	0,61	0,79	74
На 18 м ниже	269	130	0,61	0,79	74

По Наставлению по службе прогнозов [16] методика считается приемлемой для оперативных прогнозов при следующих значениях отношения  $S/\sigma$ :

1. при  $n \leq 15$ , то  $S/\sigma \leq 0,70$ ,
2. при  $15 < n < 25$ , то  $S/\sigma \leq 0,75$ ,
3. при  $n \geq 25$ , то  $S/\sigma \leq 0,80$ .

Здесь  $n$  – длина ряда или число лет,  $S$  – среднее квадратическое отклонение прогнозируемой величины от среднего значения,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение членов исходного ряда от его среднего значения

При разработке методики прогноза были использованы данные наблюдений за период 1927-2009 гг., т.е.  $n = 83$ , значит величина отношения  $S/\sigma$  удовлетворяет указанному выше условию, следовательно предлагаемую методику можно считать приемлемой для прогноза свободного стока оз. Севан. По уравнениям (1) – (3) составлены проверочные прогнозы свободного стока. На рис.1 представлены многолетние колебания фактических и расчетных величин свободного стока для уровня на 18 м ниже естественного, т.е. для современного уровня, откуда видно, что фактические и расчетные значения  $W$  как по величине, так и по знаку, в основном, достаточно близки.

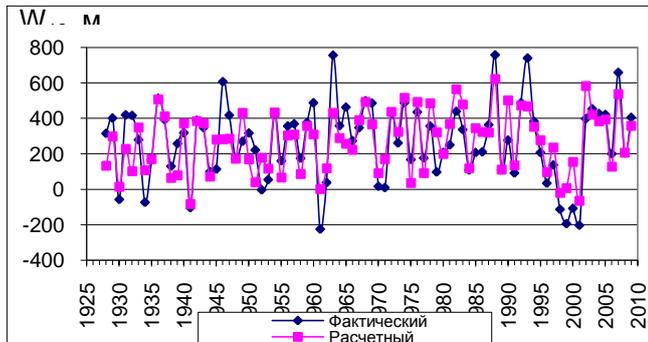


Рис. 1. Многолетние колебания фактических и расчетных величин свободного стока озера Севан для уровня 18 м ниже естественного

По кривым обеспеченности ошибок прогноза свободного стока следует, что разработанная методика в основном обеспечивает достаточную точность прогноза. В частности, для уровня на 18 м ниже естественного, в 90 % случаев ошибка прогноза меньше 200 млн. $m^3$ , а в 50 % случаев, в среднем ошибка прогноза свободного стока равна 60 млн. $m^3$ , что составляет около 23 % его среднего многолетнего значения.

Для оценки уязвимости свободного стока оз. Севан получены следующие уравнения связи:

$$\begin{aligned}
 W_{12} = & 1114,2 + 0,4 \tilde{Q}_{10} + 2,8 \tilde{Q}_{11} + 1,49 \tilde{Q}_{12} + \\
 & + 2,03 \sum Q_{1-3} + 1,78 \sum Q_{4-5} + 1,06 \sum Q_{6-8} + \\
 & + 1,89 \sum Q_{9-10} + 1,3 \sum Q_{11-12} - 13,45 \tilde{T}_{10} - \\
 & - 20,22 \tilde{T}_{11} - 7,51 \tilde{T}_{12} - 17,8 \bar{T}_{1-3} - \\
 & - 45,39 \bar{T}_{4-5} - 92,06 \bar{T}_{6-8} + \\
 & + 1,32 \bar{T}_{9-10} - 2,69 \bar{T}_{11-12}
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 W_{18} = & 1157,2 + 0,4 \tilde{Q}_{10} + 2,8 \tilde{Q}_{11} + 1,47 \tilde{Q}_{12} + \\
 & + 1,99 \sum Q_{1-3} + 1,73 \sum Q_{4-5} + 1,02 \sum Q_{6-8} + \\
 & + 1,84 \sum Q_{9-10} + 1,22 \sum Q_{11-12} - 13,79 \tilde{T}_{10} - \\
 & - 19,99 \tilde{T}_{11} - 7,4 \tilde{T}_{12} - 17,19 \bar{T}_{1-3} -
 \end{aligned} \quad (5)$$

$$- 45,05 \bar{T}_{4-5} - 90,76 \bar{T}_{6-8} + \\ + 1,36 \bar{T}_{9-10} - 3,16 \bar{T}_{11-12}$$

Здесь символ  $\Sigma$  означает сумму, черточка сверху  $T$  означает среднее, остальные обозначения прежние.

Статистические характеристики уравнений (4) и (5) приведены в таблице 2.

Таблица 2 Статистические характеристики уравнений (4) и (5)

Свободный сток $W$ , млн $m^3$	Коэффициент общей корреляции $R$	Среднее квадр. отклонение $\sigma$ , млн $m^3$	$S/\sigma$	Обеспеченность, %
$W_{12}$	0,88	104,3	0,5	85
$W_{18}$	0,87	103,3	0,5	85

В порядке примера, по нескольким сценариям изменения температуры воздуха и атмосферных осадков, по уравнениям (4) и (5) произведены оценки уязвимости свободного стока, результаты которых приведены в табл. 3.

Таблица 3 Оценочные величины свободного стока оз. Севан для уровней стояния на 12 и 18 м ниже естественного уровня в условиях разных сценариев изменения климата

12 м			
Сценарии	Сток, млн $m^3$	Изменение стока	
		млн $m^3$	%
Базис	233,22	0	0
T+1, Q	35,42	-197,80	-84,8
T+1, 1,1Q	119,43	-113,79	-48,8
T+2, 0,8Q	-330,41	-563,62	-241,7
T+2, Q	-162,39	-395,60	-169,6
T+2, 1,1Q	-78,37	-311,59	-133,6
T+2, 1,3Q	89,65	-143,57	-61,6
T+3, Q	-360,19	-593,40	-254,4
T+3, 1,1Q	-276,17	-509,39	-218,4
T+4, 0,9Q	-642,00	-875,21	-375,3
T+4, Q	-557,99	-791,20	-339,3
T+5, 0,8Q	-923,81	-1157,03	-496,1
T+5, Q	-755,79	-989,00	-424,1
T+5, 1,1Q	-671,78	-904,99	-388,0
18 м			
Сценарии	Сток, млн $m^3$	Изменение стока	
		млн $m^3$	%
Базис	269,32	0	0
T+1, Q	73,36	-195,97	-72,8
T+1, 1,1Q	154,93	-114,39	-42,5
T+2, 0,8Q	-285,76	-555,08	-206,1
T+2, Q	-122,61	-391,93	-145,5
T+2, 1,1Q	-41,03	-310,35	-115,2
T+2, 1,3Q	122,12	-147,20	-54,7
T+3, Q	-318,57	-587,89	-218,3
T+3, 1,1Q	-237,00	-506,32	-188,0
T+4, 0,9Q	-596,11	-865,44	-321,3
T+4, Q	-514,54	-783,86	-291,0
T+5, 0,8Q	-873,66	-1142,98	-424,4
T+5, Q	-710,50	-979,82	-363,8
T+5, 1,1Q	-628,92	-898,25	-333,5

Как показывают приведенные в таблице данные, при повышении температуры воздуха на 1 градус и при неизменных осадках, свободный сток озера на 18 м ниже естественного уровня может равняться 73 млн  $m^3$ , т.е. средняя многолетняя его величина уменьшится 196 млн  $m^3$ .

При повышении температуры воздуха на 2 градуса и при неизменных осадках для того же уровня, величина свободного стока составит около минус 120 млн  $m^3$ . На первый взгляд кажется, что полученные оценки маловероятны, т.е. при изменении температуры на 1-2 градуса и при неизменных атмосферных осадках, величины свободного стока не могут меняться в отмеченных размерах.

Для проверки полученных оценок мы использовали данные наблюдений над свободным стоком за период 1927-2009 гг. Были выделены данные тех лет, когда наблюдались отрицательные значения свободного стока, и привлечены также данные температуры воздуха и атмосферных осадков бассейна озера за те же годы (табл. 4).

Согласно данным табл. 4, средние значения  $W$  для уровней 12 и 18 м соответственно равны минус 150 и 106 млн  $m^3$ ,  $T - \bar{T} = 0,71 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $Q / \bar{Q} = 0,83$ . Здесь  $\bar{T}$  и  $\bar{Q}$  - средние значения этих элементов за период 1927-2009 гг. Эти цифры достаточно близки к приведенным в табл. 3 расчетным данным. Отсюда можно сделать вывод о том, что полученные оценки близки к действительности.

Таблица 4 Наблюденные отрицательные величины свободного стока оз.Севан и величины температуры воздуха и атмосферных осадков бассейна оз. Севан соответствующих лет  $\bar{T} = 5,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\bar{Q} = 454 \text{ мм}$

Год	W млн $m^3$		T, $^\circ\text{C}$	Q, мм	$\Delta T = T - \bar{T}$	$\Delta Q = Q - \bar{Q}$	$Q / \bar{Q}$
	12 м	18 м					
1930	-101	-57	6.0	436	0.7	-18	0.96
1934	-117	-74	4.7	324	-0.6	-130	0.71
1941	-151	-104	6.0	312	0.7	-142	0.69
1952	-51	-3	5.8	295	0.5	-159	0.65
1961	-272	-224	5.6	274	0.3	-180	0.60
1970	-28	17	6.2	406	0.9	-48	0.89
1998	-154	-113	6.8	407	1.5	-47	0.9
1999	-236	-194	6.4	473	1.1	19	1.04
2000	-148	-108	5.9	390	0.6	-64	0.86
2001	-242	-203	6.7	440	1.4	-14	0.97
Сред- ние	-150	-106	6.01	376	0.71	78.3	0.83

#### ლიტერატურა- REFERENCES-ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов В.К. Водный баланс оз. Севан. В кн. «Материалы по исследованию оз. Севан и его бассейна», ч. 6. Л.-М. Гидрометеоиздат, 1938 г., 83 с.
2. Никогосян Г.Т. Оценка свободного стока озера Севан с учетом его уровня. Журнал «Водные ресурсы». М.,Изд-во Наука, №3, 1980, с. 37-46.
3. Никогосян Г.Т. Многолетнее колебание свободного стока озера Севан. Сборник работ ГМЦ Арм УГКС, 1986, вып. 2, с. 100-107.
4. Калинин Г.П. Основные методы краткосрочных прогнозов водного режима. Труды ЦИП, 28 (55). Л., Гидрометеоиздат, 1952, 164 с.
5. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. Л., Гидрометеоиздат, 1979, 256 с.
6. Попов Е.Г. Современные методы гидрологических прогнозов. Журнал «Водные ресурсы», 1983, № 6, с. 51-56.
7. Важнов А.Н. Анализ и прогнозы стока рек Кавказа. М. Гидрометеоиздат, 1956 г., 274 с.
8. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, 1974 г., 419 с.
9. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. Л., Гидрометеоиздат, 1965 г., 435 с.
10. Сванидзе Г.Г. Методика статистического моделирования речного стока. Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда, т. 3, Л., Гидрометеоиздат, 1975 г., с 119-127.
11. Сванидзе Г.Г., Пиранашвили З.А. О математических моделях речного стока и их использование для гидрологических расчетов и прогнозов. Труды САРНИГМИ, 1972, вып. 1 (82), с. 134-140.
12. Сванидзе Г.Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. Л., Гидрометеоиздат, 1977 г., 296 с.
13. Озерникова О.А. Метод прогноза годового притока вод в оз. Севан. Труды ЗакНИГМИ, 1970, вып. 37 (43), с. 134-140.
14. Шагинян М.В. Основные закономерности формирования элементов стока рек Армянской ССР и методика их прогнозирования. Л., Гидрометеоиздат, 1981, 176 с.
15. Никогосян Г.Т., Оганесян Э.О. Методика прогноза притока воды в Арпиличское водохранилище. Сборник ГМО Арм УГКС, 1990, вып. 5, с. 21-32.
16. Наставление по службе прогнозов. Л., Гидрометеоиздат, раздел 3, ч. 1, 1962, 193 с.

#### შპს 551

სევანის ტბის ბუნებრივი ჩამონადენის გრძელვადიანი პროგნოზი და მოწყვლადობის შეფასება კლიმატის ცვლილების გავლენის გათვალისწინებით/გ.ნიკოგოსიანი, გ.მელქონიანი, კ.აირაპეტაიანი/საქართველოს

ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული -2011.-ტ.117.-გვ. 24-27.-  
რუს.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ნაშრომში წარმოდგენილია სევანის ტბის თავისუფალი ჩამონადენის გრძელვადიანი პროდნოზის მეთოდოლოგია ფიზიკურ-სტატისტიკური მეთოდით ბუნებრივი დონიდან 12 და 18 მეტრით ქვემოთ მარკირებისთვის. 5 მოქმედი სევანის აუზის მეტეოროლოგიური სადგურის 1927-2009წწ. მასალების გამოყენებით დადგენილია მრავალფაქტორიანი კავშირები თავისუფალ ჩამონადენს, ტემპერატურას და ნალექებს შორის ამ დონეებისათვის. განხილულია პროგნოზის გამართლება მიღებული განტოლებების საშუალებით. კლიმატური სცენარებით შეფასებულია სევანის ტბის თავისუფალი ჩამონადენის მოწყვლადობა ტემპერატურის და ნალექების სხვადასხვა სცენარებით ბაზისის მიმართ.

**UDC: 551**

**LONG-TERM FORECAST OF FREE RUNOFF OF LAKE SEVAN AND ASSESSMENT OF ITS VULNERABILITY TO THE CLIMATE CHANGE.** /G. T. Nikogosian, G. A. Melkonian, K.A. Airapetian/ Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University. -2011. - т.117. – pp. 24-27. - Russ.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

The work presents a methodology of long-term forecast of Lake Sevan free runoff using the physical-statistical method for the 12 and 18-meter marks below the former natural level. Based on the existing data at 5 meteorological stations for the years of 1927-2009 located in the Lake's basin, the multi-factorial links between the free runoff and temperature and precipitation for the given levels are determined. The degree of forecast justification is discussed using the obtained equations. According to climate scenarios have the vulnerability of Lake Sevan's free runoff is assessed of temperature and precipitation with respect to the base line.

**УДК 551**

**ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СВОБОДНОГО СТОКА ОЗЕРА СЕВАН И ОЦЕНКА ЕГО УЯЗВИМОСТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**/ Г.Т. Никогосян, Г.А. Мелконян, К.А. Айрапетян/.Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии. –2011. – т.117. – с. 24-27. – Рус .; Рез. Груз., Англ.,Рус.

В работе представлена методика долгосрочного прогноза свободного стока озера Севан физико-статистическим методом для отметок 12 и 18 метров ниже естественного уровня. Используя данные действующих в бассейне озера 5-ти метеорологических станций за 1927-2009 гг., установлены многофакторные связи между свободным стоком и температурой и осадками для данных уровней. Рассмотрена оправдываемость прогноза и при помощи полученных уравнений. По климатическим сценариям оценена уязвимость свободного стока озера Севан по разным сценариям температуры и осадков относительно базиса.