

Մ. Ա. ՏԱԽԲԱԶՅԱՆ

К МЕТОДИКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ В ИССЛЕДОВАНИИ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СТОКА

Наблюдения за режимом стока показывают, что многоводные и маловодные годы наступают по несколько лет подряд, но какая-либо определенная закономерность не прослеживается.

Наряду с этим надо отметить, что существующие приемы статистического исследования вопроса носят приближенный характер. При этом, поскольку оценивается вероятность ожидаемой водности, но не время наступления этого явления, выводы водохозяйственных расчетов представляются в форме оценки ожидаемой повторяемости маловодных и многоводных периодов без указания календарного срока наступления каждого из них [1]. Тенденция к группированию много- и маловодных лет впервые была замечена А. А. Ефимовичем [2], который установил наличие коррелятивной связи между величинами стоков смежных лет. Это обстоятельство позволяет рассматривать речной сток как последовательность конечного числа взаимосвязанных элементарных стохастических явлений. Математически, годовые колебания стока могут рассматриваться как простой процесс Маркова с дискретным временем и бесконечным числом состояний, постоянных в пределах каждого промежутка времени и меняющихся скачками при переходе от одного промежутка к другому [2].

В статье автора на примере р. Аракс рассматривается вопрос использования теоретических рядов в оценке группирования лет различной водности и учета этого обстоятельства при установлении репрезентативного периода.

Следуя Г. Г. Сканидзе [4, 5], применившего в гидрологических и водохозяйственных расчетах метод случайных испытаний, или метод Монте-Карло для построения искусственных теоретических рядов любой продолжительности, для р. Аракс (у с. Каракала) получен ряд годовых расходов продолжительностью 150 лет. Моделирование теоретического гидрологического ряда произведено без учета и с учетом коррелятивных связей между стоками смежных лет. В задаче считается известным закон распределения вероятностей годовых расходов воды Q , как некоторой случайной величины. В рассматриваемом случае считается известной кривая обеспеченности Q , построенная по ме-

году Фостера-Рыбкина. Далее, из таблицы случайных чисел Дж. Вильямса в определенной закономерности (кроме первичного числа, которое берется произвольно) выписываются числа, принимаемые за обеспеченности в % [5]. По обеспеченностям, взятым по оси абсцисс, определяются соответствующие значения ординат кривой обеспеченности, построенной для исходного ряда. Таким образом из 150 модульных коэффициентов после умножения их на норму стока ($Q = 87,0^6 \text{ м}^3/\text{сек}$) получается новый 150-летний ряд расходов, для которого определяются аналогичные параметры и строится кривая обеспеченности. Полученные для этого ряда значения параметров: $\bar{Q} = 87,7 \text{ м}^3/\text{сек}$, $C_r = 0,25$, достаточно близки к соответствующим значениям исходного ряда, продолжительность которого вместе с восстановленными по кривой связи с р. Ахурян годами, составляет 32 года. Для р. Аракс, сток которой рассмотрен в естественном состоянии с учетом отъемов воды выше с. Каракала, $Q = 87 \text{ м}^3/\text{сек}$, $C_r = 0,22$. Наблюденные и расчетные данные представлены в табл. 1. Кривые обеспеченности, построенные для теоретического и наблюдаемого рядов, хорошо совпадают между собой, и это совпадение будет тем лучше, чем надежнее таблица случайных чисел и чем длиннее теоретический ряд (рис. 1).

Учет корреляции смежных лет производится с помощью пере-

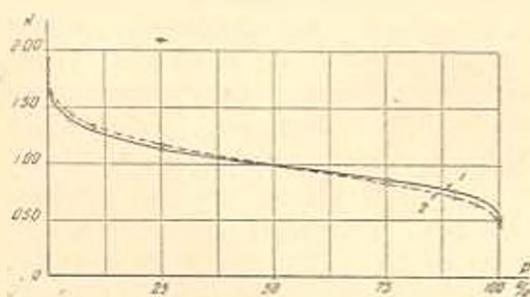


Рис. 1. Кривые обеспеченности наблюдаемого (1) и мозаичированного (2) рядов р. Аракс у с. Каракала.

ходной функции, которая выражает условную вероятность определения K_{i-1} при известном значении K_i . Для сравнения теоретического ряда, построенного с учетом корреляции смежных лет, с наблюдаемым был определен коэффициент корреляции теоретического ряда, который оказался равным 0,23 (у теоретического ряда, построенного без учета корреляции, $r = 0,074$,

см. табл. 1). Другие параметры этого ряда имеют следующие значения: $\bar{Q} = 87 \text{ м}^3/\text{сек}$, $C_r = 0,23$, $K_{r.p.} = 1,0$ (табл. 1).

Как видно из таблицы, теоретический гидрологический ряд, построенный по методу случайных испытаний с учетом корреляции смежных лет, по своим параметрам значительно ближе к исходному ряду, чем ряд, построенный без учета корреляции.

При решении ряда водохозяйственных задач оказывается необходимым установить расчетный календарный (репрезентативный) ряд годовых величин стока, который при небольшой продолжительности

* Норма стока р. Аракс несколько ниже истинной величины, вследствие отсутствия данных по водозаборам, производимым со стороны Турции, начиная с 1955.

достаточно полно и правильно отражает характер многолетних колебаний стока. Репрезентативный ряд выбирается из имеющегося ряда наблюдений, представленного в виде суммарной кривой отклонений от середины годовых модульных коэффициентов [6, 7]. На рис. 2 и 3 показаны интегральные кривые отклонений от середины для наблюдаемого и теоретических рядов с учетом корреляции между смежными годами и без учета ее.

Выбранный период можно считать репрезентативным в отношении нормы стока, если среднее значение модульного коэффициента за этот период $K_{ср}$ приближается к 1. Это получается в случае, когда

$$\sum_{i=1}^{j+m-1} (K_i - 1) = 0,$$

где j — тот год в рассматриваемом ряде лет, с которого начинается репрезентативный период. Графически равенство среднего стока за принятый расчетный период норме выражается горизонтальной прямой, соединяющей на суммарной кривой отклонений от середины модульных коэффициентов начало и конец данного периода.

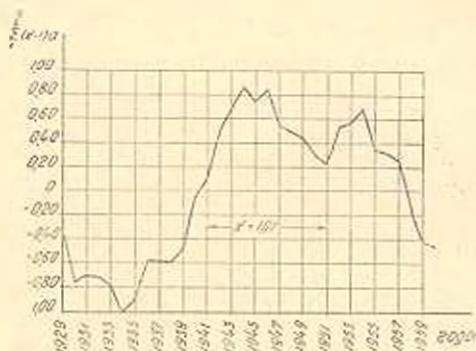


Рис. 2. Интегральная кривая отклонений годовых модульных коэффициентов ρ . Аракс у с. Каракала.

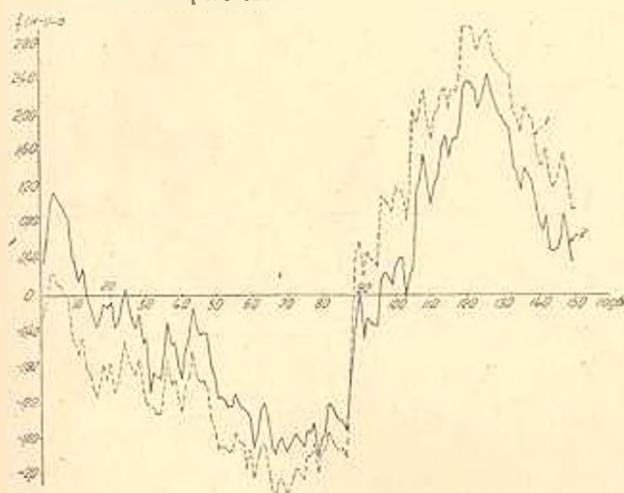


Рис. 3. Интегральные кривые отклонений от середины модульных коэффициентов случайных величин. 1—теоретический ряд без учета корреляции смежных лет. 2—теоретический ряд с учетом корреляции смежных лет.

В отличие от прежних проработок, когда репрезентативный период выбирался в зависимости от нормы стока, коэффициента вариации и наличия в этом отрезке наихудшего сочетания маловодных

Таблица 1

Таблица характеристик наблюдаемого, репрезентативного и теоретических рядов р. Аракс у с. Каракала

Гидрологические ряды	Число лет n	Среднее значение $K_{ср}$	Q $м^3/сек$	Коэффициент вариации C_v	Коэффициент корреляции r
Наблюдаемый ряд . . .	32	1,0	87,0	0,22	0,23
Репрезентативный ряд .	11	1,02	89,2	0,20	0,25
Теоретический ряд без учета корреляции	10	1,01	87,7	0,25	0,074
Теоретический ряд с учетом корреляции .	150	1,0	87,0	0,23	0,23

лет [8]. в данной работе учитывалась также и корреляция смежных лет.

По построенной для р. Аракс интегральной кривой за 32-летний период наблюдений (рис. 2) был выбран репрезентативный ряд. При этом, исходя из нормы стока и коэффициента вариации, таких рядов оказалось 4 (табл. 2), из которых только один ряд (1941—1951 гг.) оказался репрезентативным также и в отношении характера колебаний, т. е. содержащим в себе наилучшее сочетание маловодных лет, в данном случае 5-летнее затяжное маловодье. Кроме того, коэффициент корреляции смежных лет для этого ряда оказался достаточно высоким (0,25), что свидетельствует о наличии в выбранном ряду затяжного периода, в данном случае маловодного.

Таблица 2

Норма стока и коэффициенты вариации четырех рядов

Период	Q $м^3/сек$	$K_{ср}$	r	C_v	n
1929—1939	86,6	0,99	0,04	0,19	11
1941—1951	89,2	1,01	0,25	0,20	11
1942—1955	88,4	0,99	0,08	0,21	14
1946—1954	86,4	0,98	0,11	0,18	9

Как видно из табл. 2, у выбранного ряда норма стока несколько выше (89,2 $м^3/сек$), чем у наблюдаемого и прочих репрезентативных рядов, а коэффициент вариации — ниже ($C_v = 0,20$). Тем не менее по совокупности показателей этот 11-летний ряд оказался наиболее репрезентативным (рис. 2).

С целью оценки репрезентативности короткого периода по критерию продолжительности маловодий и многоводий, рассмотрены группировки многоводных, маловодных и средних лет различной продолжительности для наблюдаемого ряда, для указанных двух вариантов моделированного ряда и для выбранного репрезентативного ряда. На данной стадии расчета условно за маловодные годы приняты годы с относительной водностью менее 0,95, за многоводные — более 1,05. По-видимому, в дальнейшем придется делить годы по группам водности, исходя из обеспеченности и заданного уровня водопотребления.

Рассмотрение продолжительности многоводных периодов и частоты их повторяемости [9] показало, что наиболее продолжительный многоводный период, насчитывающий 6 лет—у наблюдаемого ряда (табл. 3). У репрезентативного ряда продолжительность многоводья составляет 4 года, а у моделированных рядов эти же четырехлетки повторяются по 2 раза.

Таблица 3

Распределение групп величин годового стока р. Аракс у с. Каракал

Длительность группы лет	Маловодные годы		Многоводные годы		Средние годы	
	повторяемость	в долях от суммы маловодных лет	повторяемость	в долях от суммы многоводных лет	повторяемость	в долях от суммы средних лет
Наблюдаемый ряд						
1	3	0,23	4	0,33	3	0,60
2	1	0,08	1	0,08	1	0,20
3	1	0,08	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	1	0,08	0	0	0	0
6	0	0	1	0,08	0	0
Репрезентативный ряд						
1	1	0,17	1	0,20	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0,20	0	0
5	1	0,17	0	0	0	0
Теоретический ряд без учета корреляции смежных лет						
1	23	0,35	20	0,27	20	0,71
2	6	0,09	7	0,13	2	0,07
3	6	0,09	4	0,07	0	0
4	2	0,03	2	0,04	1	0,04
5	1	0,01	0	0	0	0
Теоретический ряд с учетом корреляции смежных лет						
1	18	0,28	13	0,21	15	0,65
2	7	0,09	8	0,13	4	0,17
3	6	0,11	8	0,13	0	0
4	1	0,02	2	0,03	0	0
5	2	0,03	0	0	0	0

При рассмотрении сочетания маловодных лет оказалось, что у всех рядов наибольшая продолжительность маловодных периодов составляет 5 лет, причем у теоретического ряда с учетом корреляции смежных лет маловодный пятилетний период повторяется 2 раза в то время, как у прочих рядов пятилетние периоды маловодья встречается по 1 разу (табл. 3). Однако, водность пятилетнего маловодья от среднесуточной величины для каждого ряда различна. А именно, для наблюдаемого периода водность за пятилетнее маловодье составляет

88% от среднегодовой величины за этот же период. В принятом 11-летнем периоде модульный коэффициент затяжного маловодья составляет 0,85. Для теоретических рядов с учетом и без учета корреляции между стоками смежных лет водности за пятилетнее маловодье

Таблица 1

Интегральное распределение по группам маловодных лет для различных рядов

Длительность группы лет	Наблюденный ряд		Репрезентативный ряд		Теоретический ряд без учета корреляции		Теоретический ряд с учетом корреляции	
	постоярность	в долях от суммы маловодных лет	постоярность	в долях от суммы маловодных лет	постоярность	в долях от суммы маловодных лет	постоярность	в долях от суммы маловодных лет
1	3	0,23	1	0,17	23	0,35	18	0,28
2	5	0,31	1	0,17	35	0,44	32	0,37
3	8	0,39	1	0,17	53	0,53	50	0,48
4	8	0,39	1	0,17	61	0,56	54	0,50
5	13	0,47	6	0,34	66	0,57	61	0,53
6	13	0,47	—	—	—	—	—	—

соответственно равны 89% и 87%. Таким образом выбранный репрезентативный период имеет некоторый запас (требует несколько большей относительной емкости для зарегулирования маловодья). В табл. 1 и на рис. 4 приводится интегральное распределение по группам маловодных лет для различных рядов. Разность ординат между группами лет показывает, какая часть от всех маловодных лет приходится на маловодье различной продолжительности.

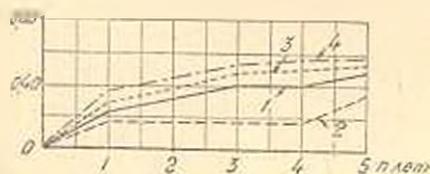


Рис. 4. Интегральные кривые распределения групп маловодных лет. р. Аракс — с. Каракала.

Поскольку для удовлетворения требований водохозяйственного проектирования представляет интерес период маловодья наибольшей продолжительности (в данном случае пятилетие), то, рассмотрев ординаты пятилетки для различных рядов, можно заметить, что для этой группы лет наибольшая часть из всех маловодных лет приходится на 11-летний ряд (0,17), далее идет наблюдаемый ряд (0,08), а затем следуют теоретические ряды (0,01 и 0,03). Это объясняется тем, что репрезентативный ряд охватывает период, куда входит по одному маловодному (пятилетний) и многоводному циклу и еще 1 маловодный год, в то время как пятилетнее маловодье, встречающееся 2 раза в 32 года и тем более 1 раз в 150 лет, будет составлять значительно меньшую долю в общем числе маловодных лет. Таким образом, построение теоретического ряда методом стохастического моделирования дает возможность проверить, насколько правильно выбран

репрезентативный период и правомерность его использования в водохозяйственных расчетах. В статье изложены предварительные результаты исследований. Работы в этом направлении автором продолжаются. Автор выражает благодарность В. П. Андреянову и А. И. Заку за советы, учтенные ею при написании статьи.

Ե. Ա. ՇԱՀՐԱՋՅԱՆ

ՀԻԻՐՈՒՄԻՆԱԿԱՆ ՇԱՐՔԵՐԻ ՄՏՈՒԱՍՏԻՒ ՄՈՒԻՆԱՅՄԱՆ ՕԳՏԱԿՈՐԾՄԱՆ
ՄԵԹՈԴԻԿԱՆԻ ՇՈՒՐՋԸ ՀՈՍՔԻ ԲԱՋՄԱՄՅՍ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ
ՀԵՏԱՋՈՏՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ

Ա. մ փ ո փ ո ս մ

Հողվածում փորձ է արված զնահատել ջրատար և սակավաջուր տարիների համակցության և հերթադաշտային հավանականության եղանակը ցանկացած երկար տևողության շարքի օդնությունում, որն ստացվում է պատահականությունների անկախ փորձերի մեթոդով (Սոնտե-Կատլոսի մեթոդ):

Հիդրոլոգիական շարքի մոդելայումը կատարված է երկու դեպքի համար. կից տարիների հոսքերի միջև եղած կապը հաշվի առնելով և առանց դրան: Այն պարամետրերը, որոնք ստացվել են տեսական շարքի համար՝ ի նկատի ունենալով կից տարիների կոռելացիայի գործակիցը, ավելի լավ են համընկնում ուսումնասիրված շարքի համապատասխան պարամետրերի հետ, քան այն շարքի պարամետրերը, որի դեպքում կոռելացիան անառնված է:

Շարքը երկարացնելու հնա միասին բնորոշված է 11-ամյա հաշվարկային սկզբնականատիվ ժամանակաշրջան: Դա կատարվել է ըստ Վ. Գ. Անդրեյանովի առաջարկած եղանակի՝ տարեկան մոդելային գործակիցների միջին արժեքից շեղումների ինտեգրալ կորի օդնությունում՝ ելնելով հոսքի նորմայի (Q), վարիացիայի գործակցի (C_v) և կից տարիների կոռելացիայի գործակցի (r) սակավաջուր տարիների ամենավատ զուգորդման դեպքում:

Հոսքի բազմամյա տատանումների հարցի բննարկման համար դիտվել են ջրատար ($K > 1.5$ հոսքով տարիներ), սակավաջուր ($K < 0.5$ հոսքով տարիներ) և միջին ($0.95 < K < 1.05$) տարրեր տևողությունը տարիների խմբավորումներ և ստացվել է հավանական զնահատական: Սակավաջուր ժամանակաշրջանների ամենահերկար տևողությունը, որը կարևոր նշանակություն ունի ջրատեսեսային հաշվարկներում, բոլոր շարքերի համար կազմում է 5 տարի:

Այսպիսով, ստիխաստիկ մոդելացման եղանակով կառուցված տեսական շարքը հնարավորություն է տալիս ստուգել, թե ինչքանով ճիշտ է բնորոշված սկզբնականատիվ շարքը և նրա օդապարման հնարավորությունները ջրատեսեսական հաշվարկներում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. М. -Л., Изд-во АН СССР, 1950.
2. Ефимович Л. А. Вопросы водохозяйственных расчетов в гидрологии. М. -Л., 1936.
3. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. Расчет многолетнего регулирования речного стока с учетом коррелятивной связи между стоком смежных лет. Тр. III Всесоюзного гидрологического съезда, т. VI, Гидрометеоиздат, 1959.

4. *Сванидзе Г. Г.* Моделирование теоретического гидрологического ряда методом Монте-Карло. Сообщение АН ГрузССР, т. XXVI, № 5, 1961.
5. *Сванидзе Г. Г.* Методика стохастического моделирования гидрологических рядов и некоторые вопросы многолетнего регулирования речного стока. Тр. Института энергетики АН ГрузССР, т. XIV, 1961.
6. *Андреев В. Г.* Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. Гидрометеониздат. Л., 1957.
7. *Андреев В. Г.* Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах. Тр. ГГИ вып. 68, 1959.
8. *Шахбазян Ш. А.* Установление многолетней изменчивости стока некоторых рек Кавказа. Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме. т. 1. Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1961.
9. *Шаршикина Н. С.* Исследование циклическости годовых величин речного стока применительно к задачам гидроэнергетики. Проблемы гидроэнергетики и регулирования речного стока. Изд-во АН СССР, М., 1960.