

УДК 502/504:556.16

**В. Г. ГУСЬКОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА С ЧАСТНЫХ ВОДОСБОРОВ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ В ГОДЫ РАЗЛИЧНОЙ ВОДНОСТИ

*На примере Волжско-Камского каскада водохранилищ рассматривается возможность учета при моделировании гидрологических рядов внутрибассейнового (по частным водосборам) и внутригодового (по фазам водности) распределения объемов годового стока в годы различной водности.*

*Внутригодовое распределение стока, моделирование гидрологических рядов, каскад водохранилищ, частные водосборы, фазы водности.*

*On the example of the Volga-Kama cascade of water reservoirs there is considered a possibility of accounting when modeling a possibility of hydrological series of the intra-basin (according to private water basins) and within-year (according to phases of water content) distributions of annual flow volumes of various water content.*

*Within-year flow distribution, modeling of hydrological series, cascade of water reservoirs, private water basins, phases of water content.*

В практике водохозяйственных расчетов, связанных с внутригодовым распределением стока, большое значение имеет не только правильный выбор расчетного маловодного или многоводного года, но и правильный выбор расчетных фаз водности (половодье, летне-осенняя и зимняя межени). Задача временного распределения годового стока решается с помощью метода компановки [1, 2].

Если метод распределения стока определенной фазы водности применить к частным водосборам речного бассейна, мы получим так называемое пространственное распределение стока [3–8].

Схема временного распределения годового стока (по фазам водности) широко используется при моделировании гидрологических рядов методом фрагментов. Схема пространственного распределения стока (по частным водосборам речного бассейна) также может применяться при моделировании гидрологических рядов с использованием метода фрагментов. При таком моделировании гидрологических рядов обычно оперируют всем диапазоном значений случайных чисел (обеспеченности) от 0 до 100 %, придавая распределению исследуемой величины (годового стока), как в пространстве (по частным водосборам речного бассейна), так и во времени (по

фазам водности), выборку хронологического или побассейнового распределения стока (%) исследуемой величины случайным образом из всевозможных значений распределения.

Вопрос: правомерно ли при моделировании гидрологических рядов методом фрагментов использовать весь диапазон значений кривой обеспеченности (0...100 %) или, быть может, для каждого диапазона (например, 0...20 %, 21...40 %, 41...60 %, 61...80 %, 81...100 %) существует своя, присущая только этому диапазону, закономерность распределения стока в долях (%) как в пространстве (по частным водосборам речного бассейна), так и во времени (по фазам водности)?

Представленный анализ в какой-то мере позволяет ответить на этот вопрос. В качестве объекта исследования взят Волжско-Камский речной бассейн, поделенный на три четко выраженных укрупненных частных водосбора.

Верхняя Волга – от истока Волги до створа Чебоксарского гидроузла (частные водосборы Ивановского, Угличского, Рыбинского, Нижегородского и Чебоксарского водохранилищ);

Кама – от истока Камы до створа Нижнекамского гидроузла (частные водосборы Камского, Воткинского и

Нижнекамского водохранилищ);

Средняя Волга – от створов Чебоксарского и Нижнекамского гидроузлов до створа Волгоградского гидроузла (частные водосборы Самарского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ).

Рассмотрены многолетние гидрологические ряды условно-естественного стока в замыкающих створах выделенных укрупненных частных водосборов за период 1914/15–2002/03 годов (89 лет). Акцент сделан на объемы стока и их пространственно-временное распределение для каждой фазы водности гидрологического года (половодье, летне-осенняя и зимняя межени).

Результаты анализа распределения стока в пространстве представлены в таблицах 1...3, а во времени – в таблицах 4...6.

Из представленных таблиц видно, что распределение стока в Волжско-

Камском речном бассейне, как в пространстве (с укрупненных частных водосборов), так и во времени (по фазам водности), независимо от зоны водности на кривой обеспеченности приблизительно одинаково с неизменным превазированием доли стока на Верхней Волге (40...50 %), несколько меньше на Каме (30...45 %) и незначительно на Средней Волге (15...25 %).

При этом можно отметить слегка уловимые особенности распределения стока: в пространстве –

1) в половодье доля стока на Каме с уменьшением водности – от особо многоводных ( $P = 0...20\%$ ) до особо маловодных ( $P = 81...100\%$ ) лет – возрастает, в то время как на Средней Волге доля стока неуклонно падает, доля стока на Верхней Волге в особо многоводные ( $P = 0...20\%$ ) и особо маловодные ( $P = 81...100\%$ ) годы

Таблица 1

**Средняя доля по зонам водности суммарного естественного объема стока рек Волги и Камы с частных водосборов Волжско-Камского каскада водохранилищ за 1914/15–2002/2003 годы**

P, %	Половодье: IV–VI				P, %
	Средняя доля объема стока, %				
	Верхняя Волга	Кама	Средняя Волга	Волжско-Камский каскад	
0 ... 20	43,79	34,23	21,98	100,00	0 ... 20
21 ... 40	42,52	35,36	22,12	100,00	21 ... 40
41 ... 60	42,20	35,03	22,76	100,00	41 ... 60
61 ... 80	42,10	36,63	21,27	100,00	61 ... 80
					81 ... 100

Таблица 2

**Средняя доля по зонам водности суммарного естественного объема стока рек Волги и Камы с частных водосборов Волжско-Камского каскада водохранилищ за 1914/15–2002/2003 годы**

P, %	Летне-осенняя межень: VII–XI <sub>2</sub>				P, %
	Средняя доля объема стока, %				
	Верхняя Волга	Кама	Средняя Волга	Волжско-Камский каскад	
0 ... 20	43,06	40,11	16,83	100,00	0 ... 20
21 ... 40	41,01	40,98	18,01	100,00	21 ... 40
41 ... 60	39,51	43,01	17,49	100,00	41 ... 60
61 ... 80	42,07	41,36	16,57	100,00	61 ... 80
81 ... 100	39,84	44,85	15,32	100,00	81 ... 100

Таблица 3

**Средняя доля по зонам водности суммарного естественного объема стока рек Волги и Камы с частных водосборов Волжско-Камского каскада водохранилищ за 1914/15–2002/2003 годы**

P, %	Зимняя межень: XI <sub>3</sub> –III				P, %
	Средняя доля объема стока, %				
	Верхняя Волга	Кама	Средняя Волга	Волжско-Камский каскад	
0 ... 20	49,97	30,62	19,41	100,00	0 ... 20
21 ... 40	48,67	32,49	18,84	100,00	21 ... 40
41 ... 60	49,26	32,48	18,26	100,00	41 ... 60
61 ... 80	47,93	33,56	18,52	100,00	61 ... 80
81 ... 100	45,01	37,50	17,49	100,00	81 ... 100

возрастает с некоторым уменьшением этой доли в диапазоне  $P = 21...80\%$  (см. табл. 1);

2) в летне-осеннюю межень доля стока на Каме с уменьшением водности – от особо многоводных ( $P = 0...20\%$ ) до особо маловодных ( $P = 81...100\%$ ) лет – также возрастает, в то время как на Верхней Волге доля стока неуклонно падает; доля стока на Средней Волге в особо многоводные ( $P = 0...20\%$ ) и особо маловодные ( $P = 81...100\%$ ) годы падает с некоторым увеличением этой доли в диапазоне  $P = 21...80\%$  (см. табл. 2);

3) в зимнюю межень доля стока на Каме с уменьшением водности – от особо многоводных ( $P = 0...20\%$ ) до особо маловодных ( $P = 81...100\%$ ) лет – возрастает, в то время как на Верхней и Средней Волге доля стока неуклонно падает (см. табл. 3); во времени –

1) на Верхней Волге доля стока в половодье с уменьшением водности – от особо многоводных ( $P = 0...20\%$ ) до особо маловодных ( $P = 81...100\%$ ) лет – возрастает, в то время как в летне-осеннюю межень доля стока неуклонно падает, доля стока в зимнюю межень практически не изменяется независимо от водности года (см. табл. 4);

2) на Каме доля стока в половодье с уменьшением водности – от особо многоводных ( $P = 0...20\%$ ) до особо маловодных ( $P = 81...100\%$ ) лет – возрастает, в то время как в летне-осеннюю межень доля стока неуклонно падает, доля стока в зимнюю межень практически не изменяется независимо от водности года (см. табл. 5);

3) на Средней Волге доля стока в половодье в особо многоводные ( $P = 0...20\%$ ) и особо маловодные ( $P = 81...100\%$ ) годы падает с некоторым

Таблица 4

**Средняя доля ранжированного по убыванию суммарного естественного объема стока Волги на Верхней Волге (с частных водосборов Ивановского, Угличского, Рыбинского, Нижегородского и Чебоксарского водохранилищ) за 1914/15–2002/2003 годы (с разбивкой по группам водности)**

P, %	Средняя доля объема стока, %					P, %
	Год	Половодье	Межень	Летне-осенняя межень	Зимняя межень	
	IV–III	IV–VI	VII–III	VII–XI <sub>2</sub>	XI <sub>3</sub> –III	
0 ... 20	100,00	59,39	40,61	24,87	15,74	0 ... 20
21 ... 40	100,00	64,13	35,87	20,19	15,68	21 ... 40
41 ... 60	100,00	61,70	38,30	22,98	15,32	41 ... 60
61 ... 80	100,00	61,09	38,91	23,25	15,66	61 ... 80
81 ... 100	100,00	62,56	37,44	21,13	16,30	81 ... 100

Таблица 5

**Средняя доля ранжированного по убыванию суммарного естественного объема стока Камы (с частных водосборов Камского, Воткинского и Нижнекамского водохранилищ) за 1914/15–2002/2003 годы (с разбивкой по группам водности)**

P, %	Средняя доля объема стока, %					P, %
	Год	Половодье	Межень	Летне-осенняя межень	Зимняя межень	
	IV–III	IV–VI	VII–III	VII–XI <sub>2</sub>	XI <sub>3</sub> –III	
0 ... 20	100,00	58,92	41,08	28,74	12,34	0 ... 20
21 ... 40	100,00	61,79	38,21	25,90	12,31	21 ... 40
41 ... 60	100,00	59,11	40,89	28,13	12,76	41 ... 60
61 ... 80	100,00	61,31	38,69	25,84	12,85	61 ... 80
81 ... 100	100,00	62,30	37,70	25,24	12,46	81 ... 100

Таблица 6

**Средняя доля ранжированного по убыванию суммарного естественного объема стока реки Волги на Средней Волге с частных водосборов Куйбышевского, Саратовского и Волгоградского водохранилищ за 1914/15–2002/2003 годы (с разбивкой по группам водности)**

P, %	Средняя доля объема стока, %					P, %
	Год	Половодье	Межень	Летне-осенняя межень	Зимняя межень	
	IV–III	IV–VI	VII–III	VII–XI <sub>2</sub>	XI <sub>3</sub> –III	
0 ... 20	100,00	65,77	34,23	20,75	13,47	0 ... 20
21 ... 40	100,00	66,86	33,14	20,36	12,78	21 ... 40
41 ... 60	100,00	69,16	30,84	19,62	11,23	41 ... 60
61 ... 80	100,00	67,47	32,53	19,03	13,50	61 ... 80
81 ... 100	100,00	65,79	34,21	19,73	14,48	81 ... 100

увеличением этой доли в диапазоне  $P = 21...80\%$ , доля стока в летне-осеннюю межень практически не изменяется независимо от водности года, а доля стока в зимнюю межень в особо многоводные ( $P = 0...20\%$ ) и особо маловодные ( $P = 81...100\%$ ) годы возрастает с некоторым уменьшением этой доли в диапазоне  $P = 21...80\%$  (см. табл. 6).

#### Выводы

Исследование показало, что распределение стока в Волжско-Камском речном бассейне, как в пространстве (с укрупненных частных водосборов), так и во времени (фазам водности), независимо от зоны водности на кривой обеспеченности приблизительно одинаково: на Верхней Волге – 40...50%, несколько меньше на Каме – 30...45% и незначительно на Средней Волге – 15...25%.

При моделировании гидрологических рядов стока в Волжско-Камском речном бассейне методом фрагментов правомерно использовать весь диапазон значений кривой обеспеченности (0...100%), не деля его по зонам водности.

1. Андреев В. Г. Внутригодовое распределение стока. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 327 с.

2. Картвелишвили Н. А. Стохастическая гидрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 164 с.

3. Александровский А. Ю., Резниковский А. Ж. О статистическом моделировании речного стока (с учетом внутригодового распределения) // Водные ресурсы. – 1972. – № 3. – С. 51–59.

4. Гриневич М. А. Композиционное моделирование гидрографа. – М.: Гидрометеиздат, 1972. – 181 с.

5. Резниковский А. М. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. – М.: Энергия, 1972. – 304 с.

6. Рождественский А. В., Чеботарев А. М. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

7. Сванидзе Г. Г. Математическое моделирование гидрологических рядов. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 296 с.

8. Шенгелия Г. П. К вопросу о моделировании паводочных гидрографов методом фрагментов: Сообщения АН ГрузССР. – Тбилиси: АН ГрузССР, 1972. – Т. 68. – С. 365–368.

Материал поступил в редакцию 15.04.11.  
**Гуськов Виталий Геннадьевич**, старший преподаватель кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»  
 Тел. 8 (495) 976-17-45, 8 (499) 747-57-04  
 E-mail: vitold.gus@mail.ru

УДК 502/504:556.1:519.233.5

### З. К. ИОФИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Вологодский государственный технический университет»

## ВТОРОЙ ВАРИАНТ ЛИНЕЙНО-КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ\*

*В работе приводятся математические выражения для параметров линейно-корреляционной модели при положительном значении свободного члена  $b$  уравнения прямой линии связи. Уравнение прямой связывает слой годовой суммы атмосферных осадков и годовой слой стока.*

*Линейно-корреляционная модель водного баланса, впитывание, потери на спаде стока, суммарное испарение, инфильтрация.*

*There are given mathematical expressions for parameters of the linearly-correlation model under the positive value of a free term  $b$  of the connection straight line equation. The straight line equation connects a layer of the annual amount of atmospheric precipitation and an annual layer of the flow.*

*Linearly-correlation model of water balance, absorption, losses at flow fall, evapotranspiration, infiltration.*

\* Работа выполнена за счет средств Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг., в рамках реализации мероприятий № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук».