

6. Основные гидрологические характеристики (за 1971-1975 гг. и весь период наблюдений). – Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. – Т. 5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 504 с.

7. Важнов, А.Н. Гидрология рек / А.Н. Важнов. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 329 с.

8. Исследование и расчеты речного стока / под ред. В.Д. Быкова. – Москва: Изд-во МГУ, 1981. – 228с.

УДК 556.162 "45" (476)

В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндя

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КОМПОНОВКИ

Определение основных параметров водохозяйственных объектов и систем осуществляется с учетом закономерностей внутригодичного хода стока рек по календарным периодам (месяцам или декадам), сезонам (весенний, летне-осенний, меженный и др.) и внутри их.

Распределение величин стока в году – сложная научно-практическая задача, связанная с оценкой влияния на сток комплекса физико-географических факторов. Наряду с климатическими факторами, на сток влияют площадь, рельеф, озерность, залесенность, заболоченность бассейна, местные гидрографические условия, что в итоге обуславливает естественную зарегулированность стока на водосборе. К этому необходимо добавить возможность трансформации стока в рассматриваемом бассейне в результате хозяйственной деятельности человека. Характер внутригодичного хода величин стока для одного и того же створа реки значительно изменяется в разрезе реальных лет. Расчетное внутригодичное распределение стока должно максимально точно отражать природные соотношения между составляющими величинами стока в отдельные периоды года, обеспечивать гарантированную безаварийную работу водохозяйственных сооружений и установок в критические периоды и сезоны.

При наличии данных наблюдений (≥ 15 лет) в практике гидрологических расчетов внутригодичные величины стока получают одним

из двух способов: распределением стока по аналогии с реальным годом; методом компоновки стока отдельных периодов и сезонов. Обоснованный выбор расчетного года из числа наблюдаемых, даже при наличии длительного ряда, затруднителен или невозможен. При использовании способа "реальных лет" сказывается субъективизм исследователя, затруднена автоматизация расчетов. Здесь наиболее приемлемо внутригодовое распределение стока путем его компоновки за отдельные части года при статистической обработке реальных расходов воды. Статистические схемы компоновки величин стока способны дать объективную картину внутригодового распределения, если используются его значения реальной обеспеченности как для года в целом, так и для лимитирующих сезонов.

По результатам исследования стока рек Беларуси, нами предлагается методика моделирования внутригодового его распределения, базирующаяся на более точном описании естественных процессов стокообразования. В основе методики лежит явление асинхронности стока (Q), смысл которого раскрывается соотношением:

$$K_{ac.i} = \frac{\sum Q_{xp.i}}{\sum Q_{pb.i}}, \quad (1)$$

где $K_{ac.i}$ – коэффициент асинхронности характеристик хронологического и равнообеспеченного стока (месячные, сезонные, годовые величины); $\sum Q_{xp.i}$ и $\sum Q_{pb.i}$ – суммарное значение, соответственно, хронологического и равнообеспеченного стока (месячные, сезонные, годовые величины).

Исследуя величины $K_{ac.i}$, мы получили устойчивые связи типа $K_{ac.i} = f(P, A_i)$, которые описываются полиномом вида:

$$K_{ac.i} = A_1 \cdot P^3 + A_2 \cdot P^{2,5} + A_3 \cdot P^2 + A_4 \cdot P^{1,5} + A_5 \cdot P + A_6 \cdot P^{0,5}, \quad (2)$$

где P – расчетная обеспеченность величин годового стока, %; A_i – коэффициенты регрессии в полиноме (2), приведенные в таблице 1. В таблице 1 представлены параметры уравнений типа (2), полученные в результате регрессионного анализа годового стока по основным рекам Беларуси для створов, имеющих ряды наблюдений 100 и более лет. О возможности практических расчетов, с достаточной степенью точности, месячных, сезонных, годовых величин стока свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции ($R=0,98...0,99$) предлагаемых связей, $K_{ac.i} = f(P, A_i)$.

Таблица 1 Параметры уравнения вида $K_{acc,i}=f(P, A_i)$

Река – створ	Параметр	Месячные величины параметров A_i в полиноме (2)				
		I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7
Ишадная Длина - Итибекс	A1	-0.00011	-0.00007	-0.00007	-0.00011	-0.00006
	A2	0.00381	0.00252	0.00242	0.00361	0.00224
	A3	-0.04957	-0.03661	-0.03473	-0.04778	-0.03247
	A4	0.31510	0.25053	0.24329	0.31211	0.23031
	A5	-1.01392	-0.86820	-0.85515	-1.03841	-0.83194
	A6	1.56530	1.44347	1.42552	1.63971	1.44845
Иман - Гродно	A1	-0.00005	-0.00007	-0.00009	-0.00008	-0.00008
	A2	0.00206	0.00237	0.00293	0.00268	0.00289
	A3	-0.03088	-0.03384	-0.03883	-0.03782	-0.04028
	A4	0.22770	0.23973	0.25730	0.26414	0.27864
	A5	-0.85384	-0.86767	-0.88412	-0.94320	-0.98725
	A6	1.50874	1.49321	1.47973	1.59105	1.64962
Днепр - Речица	A1	0.00000	-0.00007	0.00000	-0.00006	-0.00011
	A2	0.00023	0.00225	0.00038	0.00212	0.00358
	A3	-0.00646	-0.03058	-0.01115	-0.03071	-0.04739
	A4	0.07053	0.20672	0.11954	0.21902	0.30943
	A5	-0.36773	-0.72591	-0.57550	-0.80408	-1.03414
	A6	0.94065	1.28065	1.22690	1.43507	1.65153
Сож - Славгород	A1	0.00000	0.00000	0.00005	-0.00053	0.00000
	A2	0.00022	0.00036	-0.00135	0.00194	0.00029
	A3	-0.00628	-0.00974	0.01004	-0.02797	-0.00878
	A4	0.06875	0.09914	0.00000	0.20252	0.10046
	A5	-0.36250	-0.46376	-0.27012	-0.76420	-0.52663
	A6	0.93744	1.02774	0.95000	1.40820	1.23045
Березина - Юбруйск	A1	-0.00005	-0.00005	-0.00004	-0.00010	-0.00011
	A2	0.00178	0.00183	0.00130	0.00341	0.00347
	A3	-0.02575	-0.02656	-0.01940	-0.04503	-0.04533
	A4	0.18283	0.19017	0.14858	0.29559	0.29562
	A5	-0.67204	-0.70212	-0.60260	-1.00113	-1.00084
	A6	1.24678	1.28611	1.21445	1.62826	1.63336
Припять - Мозырь	A1	-0.00009	-0.00007	-0.00008	-0.00008	-0.00011
	A2	0.00309	0.00555	0.00268	0.00269	0.00359
	A3	-0.04277	-0.06908	-0.03552	-0.03698	-0.04732
	A4	0.29219	0.41920	0.23705	0.25430	0.30870
	A5	-1.01460	-1.28214	-0.83183	-0.90546	-1.03028
	A6	1.65141	1.83792	1.43400	1.54777	1.64108

Месячные величины параметров A_i в полиноме (2)						
VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
8	9	10	11	12	13	14
-0.00007	-0.00006	0.00009	-0.00006	-0.00006	-0.00011	-0.00011
0.00263	0.00201	0.00201	0.00220	0.00212	0.00358	0.00368
-0.03641	-0.02905	-0.04091	-0.03147	-0.02980	-0.04608	-0.04842
0.24771	0.21063	0.27804	0.22607	0.20082	0.29406	0.31289
0.86466	-0.79445	-0.96961	-0.84293	-0.74548	-0.97000	-1.02615
1.46903	1.44958	1.60916	1.50922	1.38537	1.56237	1.60297
-0.00006	-0.00008	-0.00009	-0.00010	-0.00009	-0.00005	-0.00004
0.00220	0.00288	0.00314	0.00331	0.00319	0.00172	0.00157
-0.02998	-0.04015	-0.04164	-0.04439	-0.04252	-0.02486	-0.02366
0.20611	0.27481	0.27421	0.29371	0.28017	0.18053	0.17733
-0.74769	-0.95412	-0.93294	-0.99445	-0.94791	-0.69097	-0.68901
1.35994	1.56984	1.54561	1.61328	1.55509	1.32007	1.31398
-0.00008	-0.00007	-0.00010	-0.00009	-0.00007	0.00000	-0.00007
0.00285	0.00234	0.00331	0.00302	0.00235	0.00038	0.00259
-0.03853	-0.03124	-0.04380	-0.04022	-0.03196	-0.01062	-0.03600
0.26128	0.21208	0.28676	0.26738	0.21845	0.11311	0.24679
-0.92061	-0.76609	-0.96492	-0.92275	-0.78626	-0.55451	-0.86305
1.56410	1.38849	1.56820	1.54587	1.40745	1.22659	1.45009
-0.00006	-0.00006	-0.00005	0.00000	0.00000	0.00002	0.00001
0.00230	0.00230	0.00204	0.00051	0.00043	0.00000	0.00000
-0.03420	-0.03474	-0.03183	-0.01381	-0.01165	-0.00655	-0.00653
0.24892	0.25287	0.23710	0.14002	0.11956	0.11566	0.09266
-0.91526	-0.91595	-0.87734	-0.64631	-0.56707	-0.59693	-0.50421
1.57457	1.54471	1.51405	1.33535	1.23243	1.29544	1.17005
-0.00009	-0.00007	-0.00007	-0.00003	-0.00005	-0.00006	-0.00011
0.00309	0.00171	0.00237	0.00132	0.00172	0.00221	0.00351
-0.04090	-0.02460	-0.03354	-0.02104	-0.02431	-0.03053	-0.04574
0.27064	0.17962	0.23484	0.16656	0.17391	0.21234	0.29463
-0.93121	-0.69459	-0.84730	-0.68154	-0.66568	-0.77852	-0.97769
1.55847	1.33610	1.48204	1.34888	1.29368	1.41273	1.56084
-0.00007	-0.00007	-0.00006	-0.00007	-0.00005	0.00038	-0.00006
0.00245	0.00218	0.00215	0.00259	0.00206	-0.01068	0.00230
-0.03537	-0.03276	-0.03183	-0.03606	-0.03025	0.11268	-0.03235
0.25415	0.24066	0.23038	0.24766	0.21928	-0.55239	0.22878
-0.91001	-0.89347	-0.84663	-0.87421	-0.81611	-0.55239	-0.83967
1.55851	1.55523	1.48126	1.49438	1.46289	1.23231	1.47930

В результате исследований внутригодовой асинхронности установлены регрессионные зависимости месячных величин стока от его годового значения $Q_m = f(Q_g)$ по изучаемым створам основных рек Беларуси. При этом обнаружена для ряда рек (месяцев) достаточно тесная их связь ($R > 0,8$) (рисунок 1), согласно полученным данным, в среднем для территории Беларуси.

Коэффициенты корреляции связей $Q_m = f(Q_g)$ изменяются от 0,1 (март) до 0,65 (апрель). Лишь в январе-марте средние значения их величины опускаются ниже уровня значимости, когда $R < 0,31$ (рисунок 1). В остальные периоды связи месячных и годовых величин стока – устойчивые.

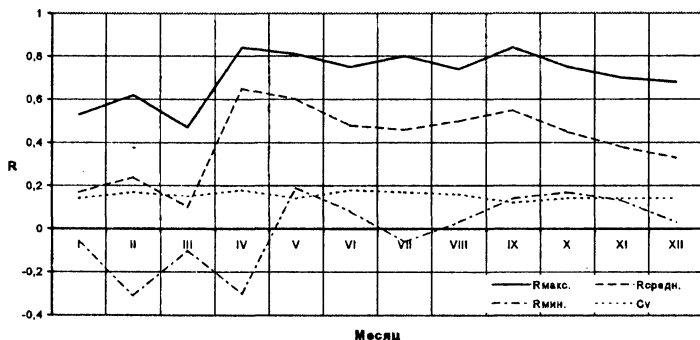


Рисунок 1 – Коэффициенты корреляции (R) месячных расходов воды с годовыми расходами воды рек Беларуси:

1 – максимальные; 2 – средние; 3 – минимальные; 4 – коэффициент вариации

С целью общего повышения устойчивости анализируемых связей, выполнено совместное ранжирование модульных коэффициентов ($K_{м.і}$) месячных и годовых величин стока. В этом случае, по всем изученным створам и для всех месяцев гидрологического года получены высокие значения коэффициентов корреляции модульных коэффициентов ($K_{м.і}$), что дало основание предложить рабочее уравнение вида

$$K_{м.і} = \frac{Q_{м.і}}{Q_{м.ср.}} = \alpha \cdot \left(\frac{Q_{г.і}}{Q_{г.ср.}} \right)^\beta, \quad (3)$$

в котором $Q_{m,i}$ и $Q_{г,i}$ – средние месячные и годовые равнообеспеченные расходы; $Q_{m.cр.}$ и $Q_{г.cр.}$ – среднее значение, соответственно, месячного и годового стока за расчетный период, которые определяются по аналогичной схеме:

$$Q_{г.cр.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{г,i}, \quad (4)$$

где n – длина ряда наблюдений; $Q_{г.cр.}$ – среднее годовое значение стока ранжированного ряда и его норма; α , β – эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в табл. 2.

Используя предлагаемую методику (зависимости 1, 2, 3) и соответствующий алгоритм, нами разработана компьютерная программа внутригодового распределения стока при наличии данных наблюдений, которая входит в программный комплекс “Гидролог” и работает совместно с базой данных гидрологической информации.

Задача решается в следующей последовательности:

1. Выбирается расчетный период из имеющегося ряда наблюдений, формируется матрица месячных и годовых расходов воды (стока) по расчетному створу.

2. По месячным и годовым значениям стока, формируется матрица модульных коэффициентов (подобно соотношению 3).

3. Формируется матрица коэффициентов асинхронности стока с годовыми значениями при использовании зависимости типа (1).

4. Формируется матрица коэффициентов (A_i) зависимости типа (2) по данным матрицы коэффициентов асинхронности (пункт 3).

5. Формируется матрица ранжированных модульных коэффициентов месячных и годовых значений стока.

6. Рассчитываются значения параметров зависимости (3) с использованием данных матрицы (пункт 5) ранжированных модульных коэффициентов месячных и годовых значений стока.

7. Строится теоретическая кривая распределения вероятностей годовых расходов воды реки, определяется модульный коэффициент соответствующей расчетной обеспеченности.

8. Определяются модульные коэффициенты месячных значений стока расчетной обеспеченности (зависимость 3).

9. Определяются коэффициенты асинхронности (зависимость 2) месячных модульных коэффициентов с годовыми модульными коэффициентами расчетной обеспеченности.

10. Уточняются модульные коэффициенты месячных значений стока с помощью соотношения (1).

11. Определяются месячные величины стока по схеме —
$$Q_{м.р\%} = K_{м.і} \cdot Q_{м.ср} \cdot$$

12. Выполняется корректировка месячных расходов путем сопоставления их суммы с годовыми значениями и разверстки невязки пропорционально месячным величинам стока.

Сравнение полученных нами материалов по распределению стока с данными гидрометрических наблюдений на реках Беларуси свидетельствует о высокой точности и надежности предлагаемого метода в сочетании с возможностью автоматизации процесса определения внутригодовых величин стока любой расчетной обеспеченности.

В таблице 3 представлена модель внутригодового распределения стока различной обеспеченности, рассчитанная на основе анализа экспериментальных данных за период 1950-1970 гг. (река Неман, расчетный створ — Гродно).

Результаты исследований хорошо корреспондируют с данными ранее выполненных работ, в частности [2], но возможность варьировать обеспеченность расчетных характеристик, наряду с высокой точностью их определения, дает основания рекомендовать к широкому практическому (возможно параллельному) использованию предлагаемой методики.

Данный подход апробирован при проектировании сооружений гидромелиоративных систем в зоне Брестского Полесья. Всего выполнено более 120 инженерных расчетов, результаты которых нашли практическое применение.

Таблица 2 Коэффициенты α , β и степень тесноты связи (R) в уравнении типа (3)

Река – пункт	Параметры	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Западная Двина – Витебск	α	0,907	0,990	0,801	0,991	0,924	0,908	0,865	0,814	0,803	0,786	0,831	0,868
	β	2,205	2,017	2,781	1,205	1,979	1,994	2,313	2,656	2,712	2,933	2,833	2,625
	R	0,987	0,983	0,977	0,989	0,989	0,979	0,974	0,967	0,973	0,973	0,974	0,985
Неман – Гродно	α	0,948	0,936	0,918	0,940	0,961	0,979	0,976	0,965	0,964	0,957	0,950	0,964
	β	0,208	2,499	2,890	2,524	2,028	1,637	1,759	1,962	1,876	2,045	2,255	2,050
	R	0,986	0,986	0,965	0,993	0,985	0,981	0,988	0,990	0,973	0,982	0,990	0,991
Днепр – Речица	α	0,982	0,979	0,908	0,958	0,950	0,947	0,963	0,943	0,973	0,976	0,939	0,958
	β	1,440	1,446	2,335	1,900	2,033	1,844	1,632	1,809	1,518	1,487	2,155	1,857
	R	0,989	0,986	0,974	0,987	0,993	0,972	0,970	0,954	0,976	0,977	0,992	0,983
Сож – Славгород	α	0,979	0,964	0,780	0,930	0,918	0,928	0,900	0,951	0,910	0,956	0,941	0,963
	β	1,328	1,486	3,088	2,063	1,889	1,610	1,936	1,759	1,768	1,605	1,773	1,633
	R	0,978	0,982	0,977	0,969	0,986	0,950	0,970	0,992	0,969	0,990	0,988	0,981
Березина – Бобруйск	α	0,979	0,974	0,906	0,955	0,955	0,969	0,957	0,963	0,966	0,976	0,966	0,970
	β	1,596	1,640	2,677	2,153	2,066	1,798	1,932	1,791	1,733	1,637	1,902	1,795
	R	0,984	0,971	0,952	0,973	0,990	0,990	0,974	0,966	0,976	0,975	0,978	0,956
Припять – Мозырь	α	0,907	0,903	0,867	0,955	0,977	0,979	0,943	0,931	0,942	0,948	0,928	0,931
	β	1,678	1,777	2,150	1,530	1,306	1,314	1,536	1,591	1,479	1,439	1,584	1,622
	R	0,968	0,978	0,985	0,993	0,997	0,994	0,968	0,964	0,969	0,970	0,970	0,979

Таблица 3 – Внутригодовое распределение стока р. Неман, Гродно, %

Месяцы	Обеспеченность, %							
	5	10	25	50	67	75	90	95
Январь	3.2	3.23	3.36	3.61	3.87	4.05	4.86	5.88
Февраль	5.47	5.5	5.62	5.82	6.02	6.17	6.82	7.64
Март	15.69	15.85	15.84	15.71	15.51	15.37	14.77	13.90
Апрель	33.65	33.4	32.64	31.31	29.95	28.97	24.67	19.30
Май	9.45	9.38	9.33	9.28	9.25	9.23	9.15	9.09
Июнь	4.93	4.92	4.98	5.11	5.26	5.37	5.84	6.44
Июль	2.93	2.92	2.97	3.08	3.2	3.29	3.67	4.15
Август	2.96	2.97	3.06	3.22	3.39	3.52	4.06	4.76
Сентябрь	2.73	2.73	2.79	2.92	3.06	3.16	3.60	4.16
Октябрь	4.02	4.05	4.17	4.40	4.63	4.81	5.55	6.50
Ноябрь	9.08	9.14	9.19	9.25	9.3	9.33	9.49	9.66
Декабрь	5.88	5.92	6.05	6.3	6.55	6.73	7.52	8.52
Год	100	100	100	100	100	1000	100	100

УДК 631.626

С.А. Дубенок, А.Н. Колобаев, Е.М. Минченко (БНТУ)

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Подавляющее число измерений гидрохимических характеристик как природных, так и сточных вод выполняется со значительными погрешностями, которые оказывают существенное влияние на дальнейшую обработку результатов наблюдений и принятие решений органами управления водоохранной деятельностью. Если качество природных вод складывается под воздействием двух составляющих – природной (естественный фон) и антропогенной, первая из которых формирует основные физико-химические свойства воды данного региона, а вторая только накладывает определённый отпечаток на эти свойства, то качественные характеристики сточных вод являются функцией разнонаправленного антропогенного воздейст-