

УДК 556.5(476)

## АСИНХРОННОСТЬ В КОЛЕБАНИЯХ СТОКА РЕК БЕЛАРУСИ

**А. А. Волчек**

*Брестский государственный технический университет, ул. Московская 267,  
224017, г. Брест, Беларусь, [Volchak@tut.by](mailto:Volchak@tut.by)*

Исследован режим колебаний различных видов стока по четырем рекам Беларуси за период с 1877 по 2020 гг. С помощью коэффициентов корреляции и асинхронности дана количественная оценка синхронности в формировании стока рек Беларуси.

**Ключевые слова:** расходы воды рек; асинхронность; обеспеченность; корреляция.

## ASYNCHRONICITY IN RIVERS FLUCTUATIONS IN BELARUS

**A. A. Volchak**

*Brest State Technical University, st. Moskovskaya, 267,  
224017, Brest, Belarus, [Volchak@tut.by](mailto:Volchak@tut.by)*

The regime of fluctuations of various types of flow along four rivers of Belarus for the period from 1877 to 2020 was studied. Using correlation coefficients and asynchrony, a quantitative assessment of synchronicity in the formation of river runoff in Belarus is given.

**Keywords:** river water flows; asynchrony; availability; correlation.

Водные ресурсы любой страны являются главным природным ресурсом, т. к. их количество и качество определяют экономику, развитие биосферы и человеческого общества. В тоже время водным ресурсам присущи значительные пространственно-временные колебания, что затрудняет их количественную оценку, прогноз и использование.

Цель настоящей работы — дать количественную оценку асинхронности в колебаниях различных видов стока за характерные интервалы времени.

Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе речного стока. Системный анализ накопленной информации позволил синтезировать закономерности пространственно-временных колебаний водных ресурсов и объективно оценить их количественные характеристики, с помощью совместного использования коэффициентов асинхронности, корреляции и изменение обеспеченностей стока по территории.

В основу используемой методики положено определение эффекта асинхронности по совмещенным кривым обеспеченности суммарных хронологического и равнообеспеченного рядов значений модульных коэффициентов речного стока [1].

При построении кривой обеспеченности суммарного равнообеспеченного ряда модульные коэффициенты располагались в убывающем порядке и суммировались. Затем, в зависимости от места, занимаемого каждым членом такого суммарного убывающего ряда, ему присваивалась соответствующая обеспеченность, рассчитываемая как:

$$P = \frac{m}{n+1} 100\%$$

где  $m$  – номер члена в ранжированном ряду;  $n$  – количество членов ряда.

Построение кривой обеспеченности суммарного хронологического ряда осуществлялось путем суммирования модульных коэффициентов двух створов речного стока за соответствующие годы в хронологическом порядке, с последующим их ранжированием в убывающем порядке. Равнообеспеченные ряды получались путем суммирования предварительно ранжированных модульных коэффициентов для каждой пары точек.

Коэффициент асинхронности  $P$ -ой обеспеченности определяется как:

$$K_{ac}(P) = \frac{K_{xp}(P)}{K_{po}(P)}$$

где  $K_{xp}(P) = \sum_{j=1}^K K_{ij}$  – хронологическая сумма модульных коэффициентов

для  $i$ -го года;  $j$  – количество пунктов наблюдения;  $K_{po}(P) = \sum_{j=1}^K K_{pj}$  –

сумма равнообеспеченных ранжированных модульных коэффициентов для каждой  $j$ -й пары створов.

При совместной оценке водных ресурсов двух рек учет асинхронности в их формировании стока осуществлялся по зависимости:

$$Q_j(P) = K_{ac}(P) \cdot Q_k(P),$$

где  $Q_j(P), Q_k(P)$  – расход воды  $j$ -й и  $k$ -й реки одинаковой обеспеченности.

Данный подход позволил оценить асинхронность в колебаниях среднегодовых, максимальных весеннего половодья, минимальных летне-осенних и зимних расходов воды рек Беларуси.

Исходными данными послужили материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за стоком 4 рек за период с 1877 по 2020 гг., т. е. 144 года, расположенных на юге, севере, западе и востоке страны: Припять в створе г. Мозыря ( $Q_{\text{ср.год.}}=391 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{вес.пол.}}=1580 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.л-ос.}}=154 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.зим.}}=155 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Западная Двина в створе г. Витебска ( $Q_{\text{ср.год.}}=225 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{вес.пол.}}=1500 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.л-ос.}}=52,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.зим.}}=54,6 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Неман в створе г. Гродно ( $Q_{\text{ср.год.}}=194 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{вес.пол.}}=792 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.л-ос.}}=89,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.зим.}}=71,9 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Днепр в створе г. Речицы ( $Q_{\text{ср.год.}}=363 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{вес.пол.}}=1710 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.л-ос.}}=152 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $Q_{\text{мин.зим.}}=129 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

На предварительном этапе проведен статистический анализ, восстановлены пропущенные данные с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [2, 3, 4]. Для исследования влияния современного потепления климата, выполнен сравнительный анализ двух интервалов: 1877-1965 гг. период до начала массовых мелиораций, характеризующийся минимальным антропогенным воздействием и условно естественным водным режимом; с 1966 по 2020 гг. — период антропогенных воздействия и потепления климата, который в свою очередь разбит на два интервала: 1966-1986 гг. — период массовых мелиораций и 1987-2020 гг. — период современных климатических изменений.

Отдельно анализировались ряды наблюдений за последние 50 лет (1971-2020 гг.), т. е. расчетный период, рекомендуемый для определения статистических характеристик и построения математических моделей прогнозирования стока рек Беларуси.

На первом этапе выполнены расчеты обеспеченности по рассматриваемым видам стока и рекам по формуле (1). В качестве примера в табл. 1 приведены значения расходов воды за конкретный год и их обеспеченности для отдельных лет (середины расчетных интервалов). Как видно из табл. 1, наблюдается широкий разброс обеспеченностей как по годам, так и по видам стока. Поэтому при оценке водных ресурсов больших территорий необходимо учитывать асинхронность в их формировании.

Корреляционный анализ стока исследуемых рек показал существенную асинхронность в их формировании за рассматриваемый период в целом (табл. 2). Большая асинхронность имела место для интервала 1877-1965 гг. по сравнению с интервалом 1966-2020 гг., т. е. в период массовых

мелиораций и современного потепления климата. Крупномасштабные мелиорации привели к увеличению густоты речной сети и приближению ее к среднему значению по стране.

Таблица 1

**Расход воды (м<sup>3</sup>/с) и обеспеченность (%) стока рек за отдельные годы**

| Год  | Вид стока          |                                     |                   |           |                          |                                     |                   |           |
|------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|
|      | Средне-<br>годовой | Макси-<br>мальный<br>полово-<br>дья | Минимальный       |           | Средне-<br>годовой       | Макси-<br>мальный<br>полово-<br>дья | Минимальный       |           |
|      |                    |                                     | летне-<br>осенний | зимний    |                          |                                     | летне-<br>осенний | зимний    |
|      | Припять – Мозырь   |                                     |                   |           | Западная Двина – Витебск |                                     |                   |           |
| 1972 | 267/81,1           | 598/85,2                            | 120/61,4          | 145/41,4  | 154/89,7                 | 798/89,7                            | 36,5/77,9         | 37,3/73,8 |
| 1905 | 315/71,7           | 1180/55,6                           | 89,5/83,5         | 78,9/81,4 | 319/10,3                 | 2080/10,3                           | 56,8/29,0         | 64,9/24,8 |
| 1977 | 486/19,3           | 1190/55,9                           | 305/3,45          | 117/58,6  | 207/57,2                 | 1570/57,2                           | 49,0/44,8         | 39,8/69,0 |
| 2004 | 382/51,7           | 1140/59,3                           | 164/40,0          | 166/33,1  | 244/34,5                 | 2040/34,5                           | 52,3/39,3         | 131/1,38  |
| 2002 | 342/62,8           | 919/70,3                            | 111/68,3          | 180/28,3  | 180/73,8                 | 903/73,8                            | 33,6/81,4         | 60,2/32,4 |
|      | Днепр – Речица     |                                     |                   |           | Неман – Гродно           |                                     |                   |           |
| 1972 | 246/96,6           | 801/82,1                            | 121/83,5          | 128/43,5  | 155/86,2                 | 347/91,7                            | 95,3/33,1         | 28,7/98,6 |
| 1905 | 460/12,4           | 3130/11,0                           | 146/46,2          | 127/44,1  | 196/38,6                 | 845/30,3                            | 88,0/46,2         | 68,0/51,7 |
| 1977 | 307/76,6           | 925/74,5                            | 170/28,3          | 81,4/75,9 | 203/33,1                 | 448/80,0                            | 106/18,6          | 49,3/87,6 |
| 2004 | 401/27,6           | 1830/39,3                           | 194/13,1          | 208/10,3  | 192/44,1                 | 192/99,3                            | 105/20,0          | 81,3/24,8 |
| 2002 | 304/77,9           | 755/88,3                            | 125/77,9          | 196/15,2  | 161/82,8                 | 475/74,5                            | 55,0/98,6         | 56,8/80,7 |

Таблица 2

**Матрица коэффициентов корреляции стока рек**

| Река – створ   | Период      | Вид стока          |                           |               |        |
|--|-------------|--------------------|---------------------------|---------------|--------|
|  |             | Средне-<br>годовой | Максимальный<br>половодья | Минимальный   |        |
|  |             |                    |                           | летне-осенний | зимний |
| Западная Двина<br>– Витебск<br>Припять – Мо-<br>зырь | 1877 - 2020 | 0,33               | 0,48                      | 0,28          | 0,52   |
|  | 1877 - 1965 | 0,36               | 0,42                      | 0,32          | 0,44   |
|  | 1966 - 1986 | 0,28               | 0,52                      | 0,19          | 0,73   |
|  | 1987 - 2020 | 0,43               | 0,49                      | 0,41          | 0,49   |
|  | 1971 - 2020 | 0,33               | 0,39                      | 0,32          | 0,43   |
| Неман – Гродно<br>Днепр – Речица                     | 1877 - 2020 | 0,56               | 0,70                      | 0,47          | 0,35   |
|  | 1877 - 1965 | 0,55               | 0,60                      | 0,41          | 0,27   |
|  | 1966 - 1986 | 0,79               | 0,80                      | 0,60          | 0,66   |
|  | 1987 - 2020 | 0,58               | 0,35                      | 0,72          | 0,38   |
|  | 1971 - 2020 | 0,52               | 0,58                      | 0,62          | 0,51   |

Современные климатические колебания внесли существенные изменения в структуру стока. Рост температуры в зимний период вызвал частые оттепели, что привело к увеличению минимальных зимних расходов, что в свою очередь привело к повсеместному снижению максимальных

расходов воды весеннего половодья. Среднегодовой сток особых изменений не претерпел. Рост минимальных летне-осенних расходов воды наблюдается на водосборах со значительными мелиорированными площадями [5].

В табл. 3 приведены значения коэффициентов асинхронности для очень многоводных ( $P=5\%$ ) и очень маловодных ( $P=95\%$ ) лет. При этих обеспеченностях коэффициенты асинхронности имеют максимальные отклонения от единицы. При обеспеченностях  $P < 3\%$  и  $P > 97\%$  коэффициенты асинхронности стремятся к единице. Величина отклонения коэффициентов асинхронности от единицы, по абсолютной величине, для маловодных лет больше, чем для многоводных.

Таблица 3

Матрица коэффициентов асинхронности стока рек

| Река – створ                             | Обеспеченность     | Вид стока      |                        |               |        |
|--|--------------------|----------------|------------------------|---------------|--------|
|  |                    | Средне-годовой | Максимальный половодья | Минимальный   |        |
|  |                    |                |                        | летне-осенний | зимний |
| Зап. Двина – Витебск<br>Припять – Мозырь | $K_{ac}(P_{5\%})$  | 0,87           | 0,96                   | 0,90          | 0,97   |
|  | $K_{ac}(P_{95\%})$ | 1,16           | 1,17                   | 1,12          | 1,27   |
| Неман – Гродно<br>Днепр – Речица         | $K_{ac}(P_{5\%})$  | 0,88           | 0,88                   | 0,93          | 0,91   |
|  | $K_{ac}(P_{95\%})$ | 1,35           | 1,09                   | 1,06          | 1,31   |

В первом случае основной фактор формирования стока определяется геологическим строением водосбором рек. В многоводные годы главным в формировании стока выступают климатические факторы. Для многоводных лет  $K_{ac} < 1$ , т. е. вероятность синхронного формирования максимальных среднегодовых расходов воды на реках меньше и слабо зависит от направления. Для максимальных расходов весеннего половодья асинхронность более выражена в долготном направлении.

В период маловодных лет асинхронность больше в долготном направлении для среднегодового стока и минимального зимнего стока.

Полученные результаты показали, что асинхронность в формировании стока рек Беларуси существенная и ее необходимо учитывать при оценке водных ресурсов для маловодных и многоводных лет.

### Библиографические ссылки

1. Логинов В. Ф., Волчек А. А. Водный баланс речных водосборов Беларуси. Минск: Тонпик, 2006. 160 с.

2. Валуев В. Е., Волчек А. А., Пойта П. С., Шведовский П. В. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. 252 с.

3. Волчек А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие. Москва : КНОРУС, 2021. 418 с.

4. Волчек А. А., Парфомук С. И. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // Веснік Палескага дзяржаўнага універсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. № 1. 2009. С. 22-30.

5. Волчек А. А., Корнеев В. Н., Парфомук С. И. Булак И. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. Брест : Альтернатива, 2017. 228 с.