

УДК 550.34 (476)

Водчек А.А., Волчек Ан.А., Лукша В.В., Шведовский П.В.
УО «Брестский государственный технический университет», г.Брест

ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ РЕК БЕЛАРУСИ

Peak and frequency characteristics of spectral decomposition of a spring high water flow of four basic rivers of Belarus on time interval in 134 years and two allocated periods 1937-1968 and 1969-2000 periodicity of a river flow are considered. Comparison of this periodicity for two allocated periods is established.

При проведении мелиоративных работ и гидротехническом строительстве необходимо иметь четкое представление о значениях максимальных расходов воды весеннего половодья, а также об периодичности их изменения. Анализ максимальных расходов воды весеннего половодья рек, а также последствий наводнений является одним из приоритетных направлений современной гидрологической науки. Исследования последних лет показывают, что речной сток имеет тенденцию к изменению. Причем, если годовой, минимальный летне-осенний и зимний стоки рек Беларуси увеличиваются, то максимальный сток весеннего половодья имеет тенденцию к снижению. Это вызвано увеличением количества оттепелей, что значительно увеличивает минимальный зимний сток [1].

Целью данной работы является изучение динамики периодов колебаний максимальных расходов воды весеннего половодья основных рек Беларуси. При этом рассматриваются отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции.

Одним из наиболее наглядных методов исследования внутренней структуры временных рядов считается спектральный анализ, основанный на разложении функций, графически представляемых как колебательный процесс, в ряд Фурье.

В качестве исходных данных для анализа периодов колебаний максимальных расходов воды весеннего половодья использованы временные ряды продолжительностью 134 года (1877-2010 гг.) основных рек Беларуси: Припять – г. Мозырь, Неман – г. Гродно, Западная Двина – г. Витебск и Днепр – г. Речица. Восстановление недостающих данных наблюдений осуществлялось методом множественной корреляции с использованием рек-аналогов. Выполнено продление временного ряда путем погодичного восстановления пропущенных (или недостающих) наблюдений с помощью программного комплекса «Гидролог» [2].

Практическая реализация спектрального анализа заключается в аппроксимации с любой точностью заданной функции H на интервале времени t с помощью конечного набора гармонических составляющих, т.е.

$$H(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^m (a_n \cdot \cos n \omega_1 t + b_n \cdot \sin n \omega_1 t) \quad (1)$$

или

$$H(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^m (A_n \cos(n \omega_1 t - \varphi_n)), \quad (2)$$

где n – номер гармоники; $\omega_i = 2 \cdot \pi \cdot f_i$ – угловая частота повторения; a_0 , a_n и b_n – коэффициенты ряда Фурье; m – число гармоник; A_n и φ_n – соответственно амплитуда и начальная фаза n -ой гармоники.

Коэффициенты a_n и b_n для дискретных числовых рядов определяются по формулам:

$$a_n = \frac{2}{N} + \sum_{i=1}^N (y_i \cdot \cos \omega_i \cdot \Delta t), \quad (3)$$

$$b_n = \frac{2}{N} + \sum_{i=1}^N (y_i \cdot \sin \omega_i \cdot \Delta t), \quad (4)$$

где N – число членов ряда на интервале $T_n = 1/f_n$; Δt – отрезок времени между соседними членами ряда.

Конечная цель спектрального анализа – нахождение спектральной функции $D=f(\omega)$, описывающей распределение дисперсии D исходного ряда по различным частотам ω . Амплитудно- и фазово-частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) спектра определяются по формулам [4]:

$$A_n(f) = \sqrt{a_n^2(f) + b_n^2(f)}, \quad (5)$$

$$\varphi(f) = -\arctg\left(\frac{b_n(f)}{a_n(f)}\right). \quad (6)$$

Как известно, величины A_n и D_n взаимосвязаны ($D_n = A_n^2/2$ для крайних и $D_n = A_n^2$ для промежуточных значений n), с практической точки зрения важнее представляется провести анализ АЧХ-спектра, определяющие конкретные значения амплитуд годовых расходов воды на различных частотах. Так как выделяемые на АЧХ гармоники в реальном природном процессе могут быть нестабильными и с течением времени возможно изменение АЧХ, оптимальный вариант – построение АЧХ-спектра для одних и тех же точек на последовательных временных интервалах [4].

Построены периодограммы АЧХ максимального стока весеннего половодья крупных рек Беларуси, рассчитанные с помощью уравнений (3), (4) и (5). Их анализ показывает, что в рядах максимального стока весеннего половодья явно присутствуют циклы 20 и 40 лет, за исключением реки Неман, для ряда которой возможно выделение менее значительных циклических колебаний приблизительно в 17 и 25 лет. Большая часть «пиковых» циклов для всех рассматриваемых рек приходится на периоды до 20 лет. Выделенные 40-летние циклы, амплитуда которых для Припяти сопоставима с менее короткими циклами (до 20 лет), показывают, что, в среднем, для крупных рек Беларуси колебания максимальных расходов воды весеннего половодья имеют 40-летнюю цикличность в вековом разрезе.

Отличие формы периодограмм для различных рек характеризует условия формирования максимальных расходов воды весеннего половодья. Так, например, водосбор Припяти имеет существенные отличия стокоформирующих (рельефных, гидрогеологических и климатических) факторов от водосборов других рек, что влияет на дружность весеннего половодья и соответственно на цикличность стока.

Для более детального выяснения значений наиболее существенных периодов в короткоциклической структуре колебаний амплитуд построены периодограммы максимального стока весеннего половодья для периодов до 20 лет. Здесь можно отметить существенную синхронность хода периодограмм по всем рассматриваемым рекам, то есть короткопериодические циклы более взаимосвязаны нежели длиннопериодические.

При этом большая часть выделенных циклов сосредоточена в промежутке от 2 до 5 лет, что дает возможность говорить о достаточной нестабильности в процессах формирования максимальных расходов воды весеннего половодья. Это, в первую очередь, связано с быстротой прохождения половодья и появления пика половодья.

Для более детального изучения циклов максимальных расходов воды весеннего половодья и выделения их временной трансформации значения исследуемых расходов воды были разделены на две группы, соответствующие 32 годам наблюдений – 1937-1968 и 1969-2000 годы. За оба рассматриваемых периода выделенные циклы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Циклы колебаний максимальных расходов воды весеннего половодья для основных рек Беларуси

Река – створ	Циклы за период	
	1937-1968 гг.	1969-2000 гг.
Припять – г. Мозырь	2,29; 2,67; 3,56; 5,33; 8,00	2,91; 4,00; 10,7
Неман – г. Гродно	2,29; 3,56; 5,33	2,91; 4,00; 8,00
Западная Двина – г. Витебск	2,13; 2,91; 3,56; 5,33; 8,00	2,13; 2,67; 4,00; 8,00
Днепр – г. Речица	2,13; 2,29; 2,91; 5,33; 8,00	2,91; 4,00; 8,00

Анализ таблицы показывает, что за период 1969-2000 гг. по сравнению с 1937-1968 гг. произошла трансформация цикличности максимального стока весеннего половодья. Так, если за период 1937-1968 гг. доминировали циклы в 3,56 и 5,33 года, то за период 1969-2000 гг. выделяются более выдающимися являются 4-летние циклы. Для всех рек, за исключением Припяти, произошло уменьшение амплитуды короткопериодичных циклов (до 4 лет). В то же время для Днепра периодограммы для двух рассматриваемых периодов идут синхронно с довольно существенным (до 2,5 раз) уменьшением амплитуды. Наиболее «нарушенный» ход имеют периодограммы для Припяти.

Существенное уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья в бассейне Припяти (до 50%) связано с большой антропогенной нагрузкой на речной сток. Крупномасштабные мелиоративные работы внесли изменения во внутrigодовое перераспределение стока. Поэтому для Припяти характерны смещения цикличности, особенно для периодов до 4 лет.

С использованием спектрального анализа максимальных расходов воды весеннего половодья выявлена цикличность колебаний речного стока основных рек Беларуси. Для всего ряда наблюдений отмечаются длиннопериодичные (20 и 40 лет) циклы, что обусловлено вековыми колебаниями водности рассматриваемых рек.

При разделении ряда на два периода: с ненарушенными условиями формирования стока – 1937-1968 гг. и практически с начала крупномасштабных мелиораций – 1969-2000 гг. и последующем построении периодограмм для двух рассматриваемых периодов выявлены нарушения цикличности максимальных расходов воды весеннего половодья, особенно для Припяти. И если изменения годового стока для Припяти несущественны, как, впрочем, и цикличность, то для максимального стока весеннего половодья эти изменения за второй рассматриваемый период носят трансформированный характер, т.е. антропогенное вмешательство повлияло в большей степени на внутrigодовое распределение стока.

В целом для исследуемых рядов максимального стока весеннего половодья преобладают циклы в 2, 4, и 8 лет, что практически не отличается от результатов, полученных нами ранее с использованием спектрально-временного анализа других независимых методов оценки межгодовой изменчивости модулей речного стока [5].

Дальнейшие исследования будут направлены на выявление цикличности минимальных летних и зимних расходов воды с целью получения полной картины внутригодовой трансформации речного стока.

Практическое применение полученных результатов возможно при прогнозировании максимальных расходов весеннего половодья рек Беларуси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчек, А.А. Пространственная структура изменения весеннего половодья рек Беларуси / А.А. Волчек, В.В. Лукша, Ан.А. Волчек // Экологические проблемы природно-технических комплексов: тез. докл. I Международного экологического симпозиума в г. Полоцке: в 2-х томах. – Полоцк: УО «ПГУ», 2004. – Том 1. – С. 59.
2. Волчек, А.А. Автоматизация гидрологических расчетов / А.А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: труды Международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С. 55-59.
3. Пановский, Г.А. Статистические методы в гидрометеорологии / Г.А. Пановский, Г.В. Брайер – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 210 с.
4. Педан, В.В. Анализ структуры временных рядов весенних максимальных уровней природных вод / В.В. Педан // Водные ресурсы, 2003. – Том 30. – №6. – С. 688-695.
5. Volchak, A.A. Chronological structure of long-term alteration of river flow of Belarus / A.A. Volchak, V.V. Luksha // Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены. Матэрыялы Міжнароднай канферэнцыі / ОПП НАН Беларусі. – Т.1. – Брест, 2002. – С. 183-187.

УДК 621.221(476)

Волчек А.А., Дашкевич Д.Н.

УО «Брестский государственный технический университет», г.Брест

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РЕК БЕЛАРУСИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Results of calculation of change of a hydroenergy potential of the rivers of Belarus in the conditions of modern climate change are presented in the article. Calculations are executed for 88 hydrometric points of the rivers.

Введение

Согласно стратегии развития энергетического потенциала Беларуси, принятой Советом Министров Республики Беларусь, к 2015 году доля собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива должна возрасти до 28-30 процентов. В этой связи большое значение приобретает развитие возобновляемых источников энергии, в частности гидроресурсов. Использование водного потенциала является одним из важнейших направлений возобновляемой энергетики в Беларуси. Потенциальная мощность всех водотоков страны составляет 850 МВт, в том числе технически