

ляют собой вынужденные колебания, формирующиеся под воздействием крупномасштабных мощных энергетических факторов.

Полученные результаты хорошо согласуются с полученными нами ранее с использованием других методов оценки цикличности колебаний речного стока, таких как спектрально-временной анализ (СВАН) [5] и оценка межгодовой изменчивости модулей речного стока [9].

Дальнейшие исследования будут направлены на определение цикличности колебаний сезонных расходов воды, их связи с цикличностью годовых расходов, изменениями влажности почвы, испарения и других элементов водного баланса.

Полученные результаты могут найти практическое применение при прогнозировании годовых расходов основных рек Беларуси, так как колебания значений стока при разложении в ряд Фурье можно экстраполировать на будущие десятилетия.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Витинский Ю.И. Солнечная активность. – М.: Наука, 1983. – 192 с.
2. Воробьева Е.В. Изменение атмосферных циклов в связи с геомагнитной возмущенностью и долгосрочные прогнозы погоды // Солнечно-атмосферные связи в теории климата

и прогнозах погоды. Тр. I Всесоюз. совещ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – С. 333-346.

3. Дзержевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX столетии. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1983. – 240 с.
4. Дроздов О.А. Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания осадков на территории СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 158 с.
5. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Лукша В.В. Многолетние колебания речного стока Припяти // Природопользование. – 2004. – Вып.10. – ИПИПЭ. – Мн.: ОДО «Тонпик». – С. 8-15.
6. Пановский Г.А. Брайер Г.В. Статистические методы в гидрометеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 210 с.
7. Педан В.В. Анализ структуры временных рядов весенних максимальных уровней природных вод // Водные ресурсы, 2003. – том. 30. – №6. – С. 688-695.
8. Shumway R. H. Applied statistical time series analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988.
9. Volchak A.A., Luksha V.V. Chronological structure of long-term alteration of river flow of Belarus // Природное асыродде Палесся: сучасны стан і яго змены. Матэрыялы міжнароднай канферэнцыі / ОПП НАН Беларусі. – Т.1. – Брэст, 2002. – С. 183-187.

УДК 550.34 (476)

*Лукша В.В., Волчек А.А.*

## ПЕРИОДЫ КОЛЕБАНИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ ОСНОВНЫХ РЕК БЕЛАРУСИ

### ВВЕДЕНИЕ

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.

Как известно, в последние десятилетия ресурсы пресных вод претерпели значительные трансформации, связанные с изменением климата и антропогенным воздействием. Выявление этих трансформаций возможно с помощью детального анализа внутренней структуры рядов стока рек.

Основной характеристикой водного режима рек являются средние годовые расходы воды. Средний годовой расход является устойчивой характеристикой оценки изменения речного стока, и только значительные нарушения формирования водных ресурсов могут сказаться на изменении колебаний его величин. В то же время, уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья существенно трансформирует внутригодовое распределение речного стока, и эти трансформации могут практически не сказаться на величине среднего годового расхода. Поэтому необходим тщательный анализ изменений каждого из внутригодовых расходов, таких как максимальных расходов весеннего половодья, минимальных

летних и зимних расходов с целью более детального выявления количественных изменений речного стока.

Инструментальные гидрометрические наблюдения за расходами крупных рек в Беларуси начаты еще в XIX столетии, поэтому сегодня, имея достаточно длинные ряды наблюдений, возможно получать корректные результаты в области вековых колебаниях стока рек, выделять периоды этих колебаний и на их основе прогнозировать дальнейшее изменение водности.

Исследование внутренней структуры временных рядов может выполняться различными методами: построением разностных интегральных кривых, корреляционных, автокорреляционных и спектральных функций, использованием спектрально-временного анализа (СВАН), причем каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Одним из наиболее наглядных методов считается спектральный анализ, основанный на разложении функций, графически представляемых как колебательный процесс, в ряд Фурье.

### ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве исходных данных для анализа периодов колебаний максимальных расходов воды весеннего половодья использованы временные ряды продолжительностью 124 года (1877 – 2000 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. Нами выполнено продолжение 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

*Волчек Анастасия Александровна, младший научный сотрудник ГНУ «Отдел проблем Полесья Национальной академии наук Беларуси». Беларусь, ОПП НАН Беларуси, 224020, г. Брест, ул. Московская, 204.*

$H$  на интервале времени  $t$  с помощью конечного набора гармонических составляющих, т.е.

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

или

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

где  $n$  – номер гармоники;  $\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1$  – угловая частота повторения;  $a_0$ ,  $a_n$  и  $b_n$  – коэффициенты ряда Фурье;  $m$  – число гармоник;  $A_n$  и  $\varphi_n$  – 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  $T_n = 1/f_n$ ;  $\Delta t$  – 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  $\omega$ . Амплитудно- и фазово-частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) спектра определяются по формулам [4]:

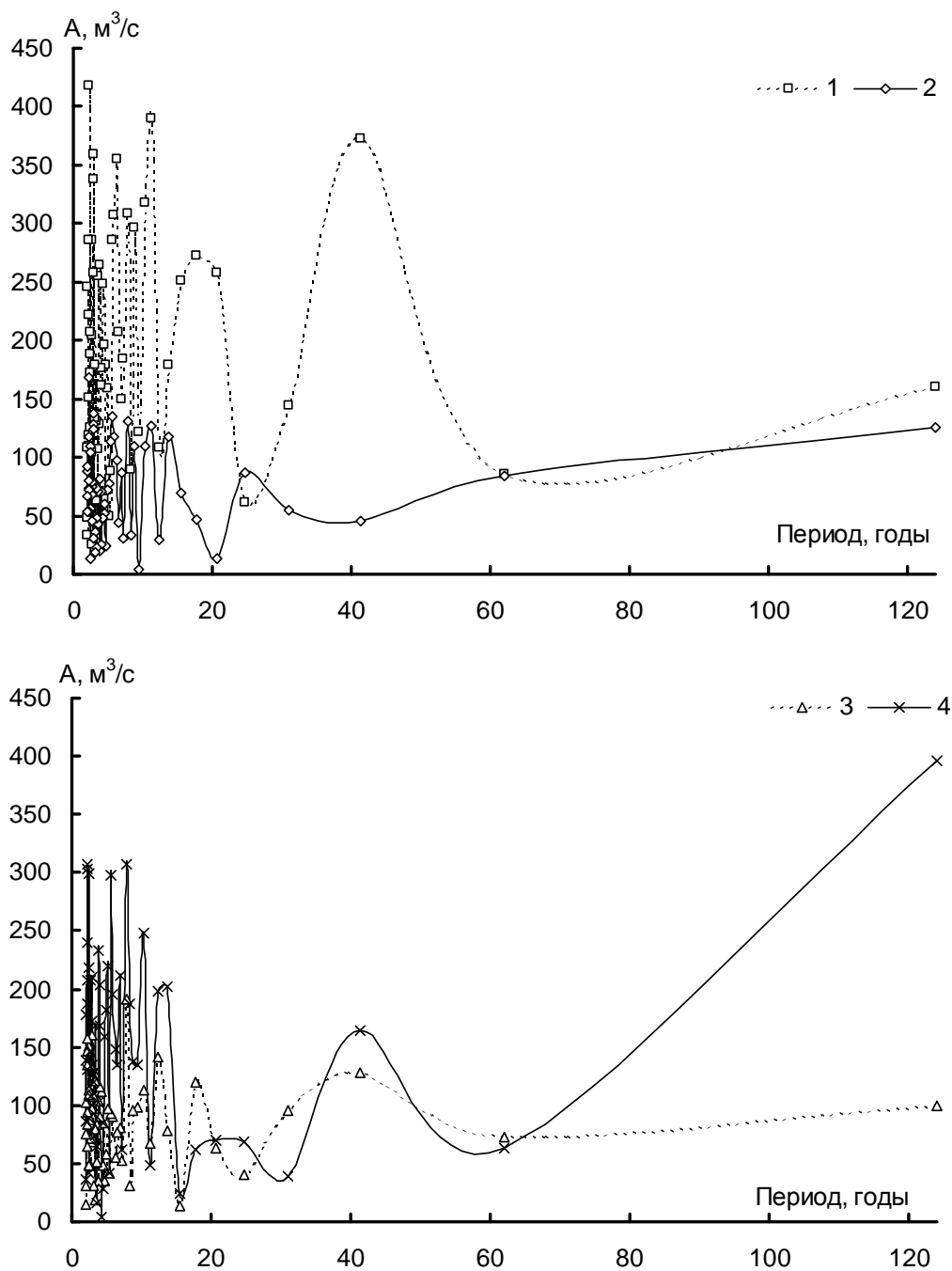


Рис. 1. Периодограммы максимального стока весеннего половодья за 1877-2000 гг. основных рек Беларуси: 1 – р. Припять – г. Мозырь; 2 – р. Неман – г. Гродно; 3 – р. Западная Двина – г. Витебск; 4 – р. Днепр – г. Речица.

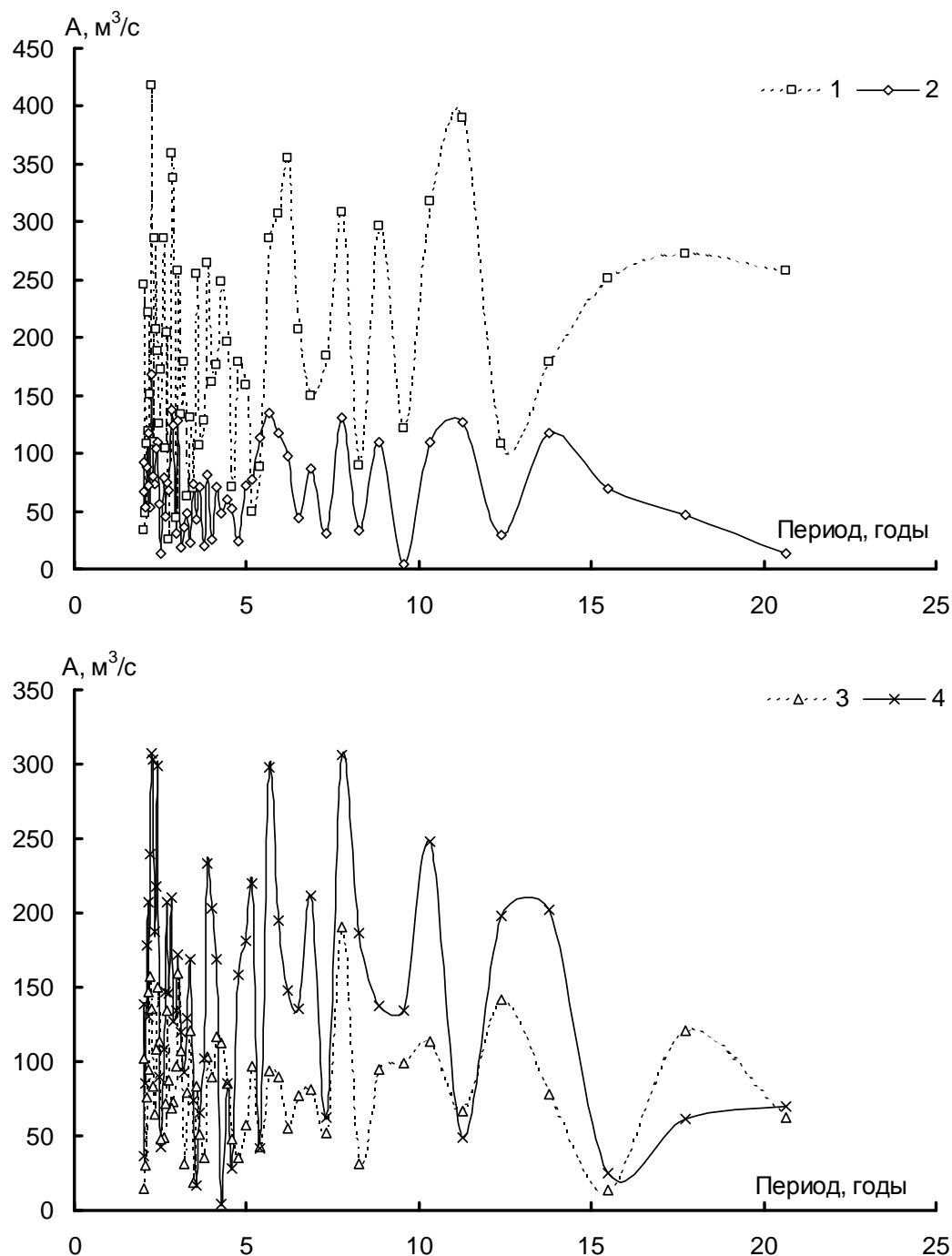


Рис. 2. Периодограммы максимального стока весеннего половодья для периодов до 20 лет основных рек Беларуси: 1 – р. Припять – г. Мозырь; 2 – р. Неман – г. Гродно; 3 – р. Западная Двина – г. Витебск; 4 – р. Днепр – г. Речица.

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

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

Как известно, величины  $A_n$  и  $D_n$  взаимосвязаны. 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 [5].

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование всех возможных данных рядов максимального стока весеннего половодья (124 года) дает возможность оценить вековые колебания расходов воды и выделить наиболее существенные периоды их колебаний. Для этого построены периодограммы АЧХ максимального стока весеннего половодья крупных рек Беларуси, рассчитанные с помощью уравнений (3), (4) и (5) (рис.1).

Анализ рис. 1 показывает, что в рядах максимального стока весеннего половодья явно присутствуют циклы 20 и 40 лет,

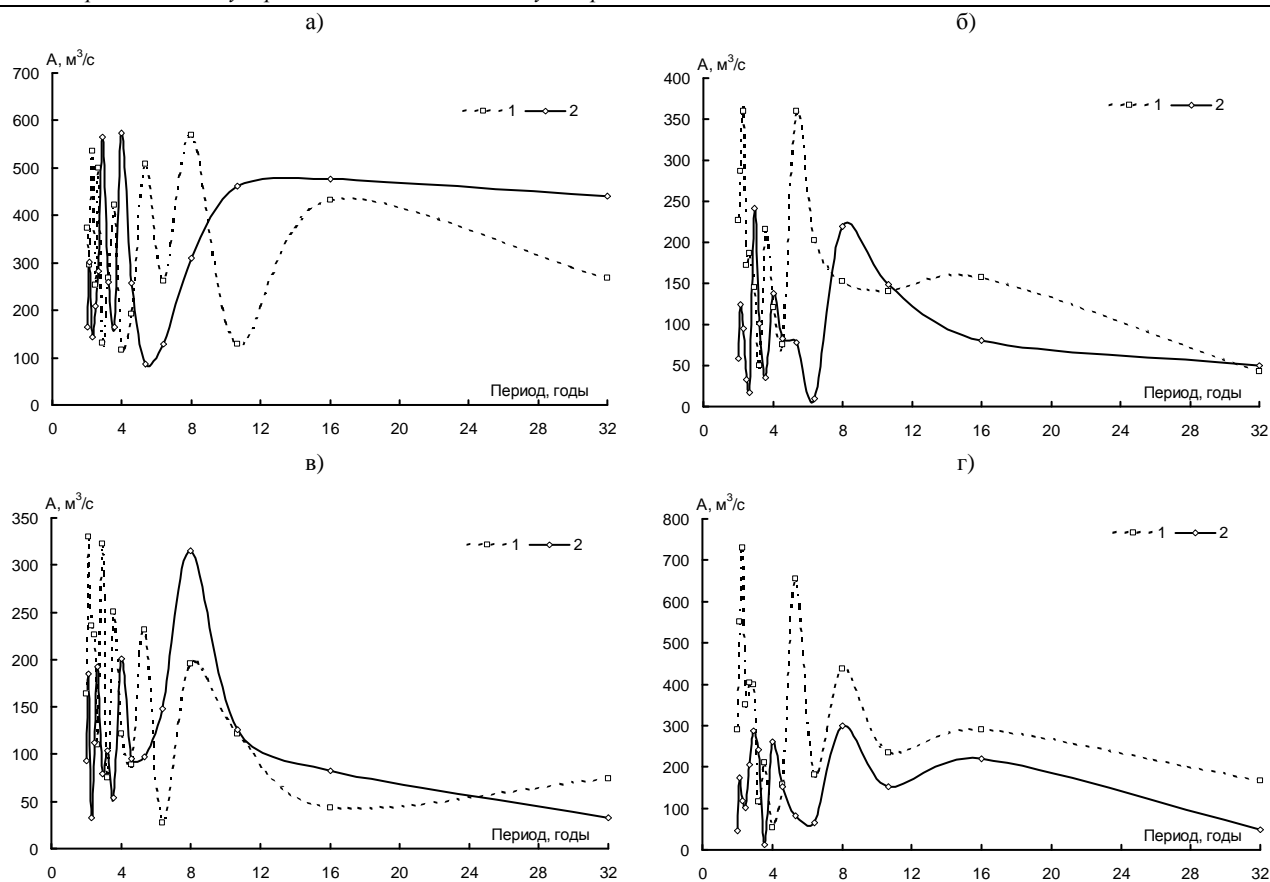


Рис. 3. Периодограммы максимального стока весеннего половодья за 1937 – 1968 (1) и 1969 – 2000 гг. (2) для: а – р. Припять-г.Мозырь; б – р. Неман-г.Гродно; в – р. Западная Двина-г.Витебск; г – р. Днепр-г.Речица.

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 (рис. 2).

На рис. 2 можно отметить существенную синхронность хода периодограмм по всем рассматриваемым рекам, то есть короткопериодичные циклы более взаимосвязаны нежели длиннопериодичные. 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 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 наблюде-

ний – 1937 – 1968 и 1969 – 2000 годы. Построенные периодограммы для двух выделенных периодов приведены на рис. 3.

Анализ рис. 3 и табл. 1 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 [3]. Крупномасштабные мелиоративные работы внесли изменения во внутригодовое перераспределение стока. Поэтому для Припяти характерны смещения цикличности, особенно для периодов до 4 лет.

О существенной трансформации циклов максимальных расходов воды весеннего половодья можно судить по построенным фазовым периодограммам для двух рассматриваемых периодов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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.

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

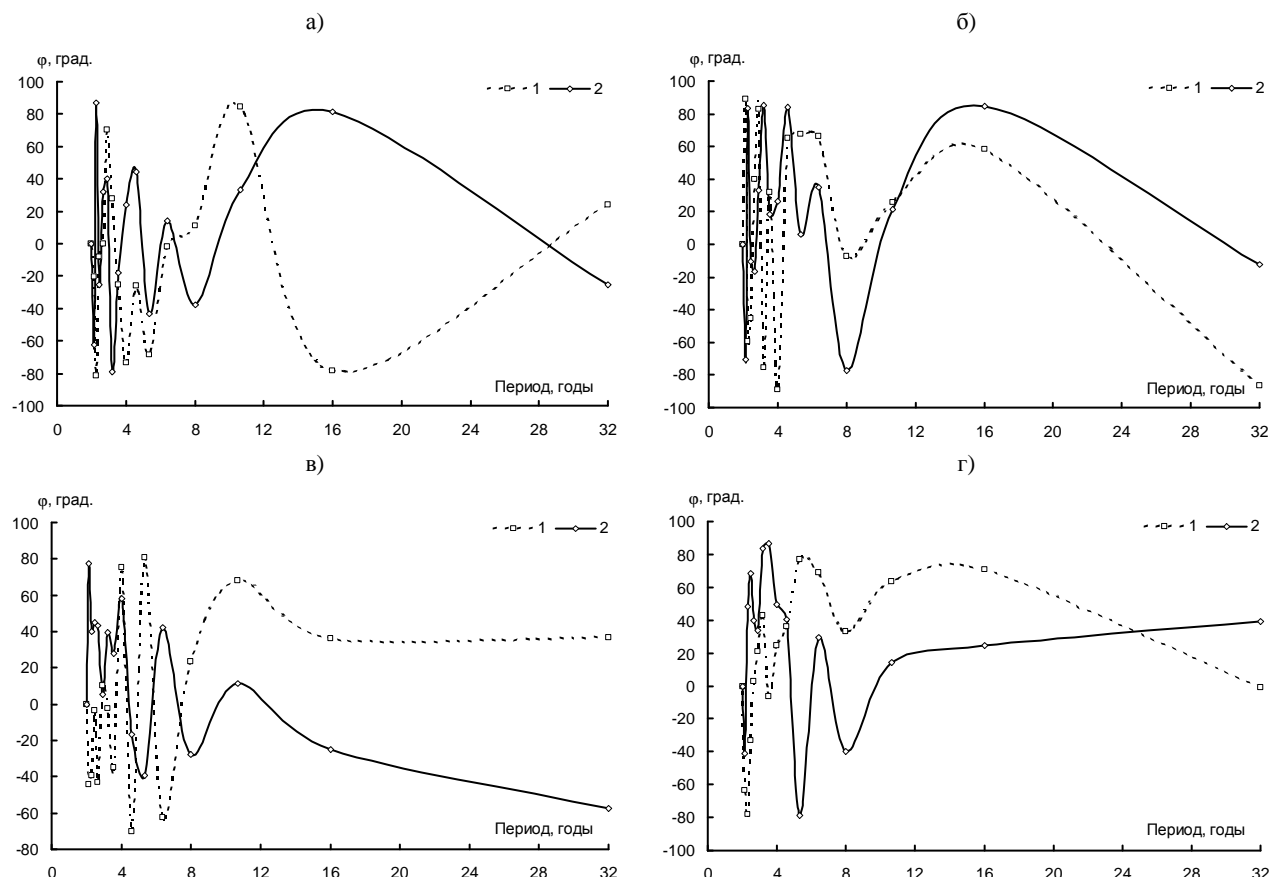


Рис. 4. Фазовые периодограммы максимального стока весеннего половодья за 1937-1968 гг. (1) и 1969-2000 гг. (2) для: а – р. Припять – г. Мозырь; б – р. Неман-г.Гродно; в – р. Западная Двина – г. Витебск; г – р. Днепр-г.Речица.

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 не существенны, 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 внутригодовое 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 [6].

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 основных рек Беларуси.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек А. А., Лукша В. В., Волчек Ан. А. Пространственная структура изменения весеннего половодья рек Беларуси // Экологические проблемы природно-технических комплексов: тез. докл. I международного экологического симпозиума в городе Полоцке. В 2-х томах. Том 1. – Полоцк: УО «ПГУ», 2004. – С. 59.
2. Волчек А.А. Автоматизация гидрологических расчетов // 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. Лукша В.В. Методы расчета и оценка изменчивости стока рек / Автореф. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Брест.: Изд. БГТУ. – 2004. – 20 с.
4. Пановский Г.А. Брайер Г.В. Статистические методы в гидрометеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 210 с.
5. Педан В.В. Анализ структуры временных рядов весенних максимальных уровней природных вод // Водные ресурсы, 2003. – том. 30. – №6. – С. 688-695.
6. Volchak A.A., Luksha V.V. Chronological structure of long-term alteration of river flow of Belarus // Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены. Матэрыялы міжнароднай канферэнцыі / ОПП НАН Беларусі. – Т.1. – Брест, 2002. – С. 183-187.