

на территории Беларуси наблюдалось уменьшение годового стока рек бассейна Западной Двины за исключением некоторых водосборов, где обнаружено сильное уменьшение стока. Для рек бассейна низовий Днепра и Березины, а также верхней Припяти характерно увеличение стока. У рек средней и нижней Припяти наблюдается значительное увеличение годового стока. Такое изменение водного режима вызвано влиянием крупномасштабных мелиораций, в результате которых произошло увеличение густоты проводящей сети и ее углубление, что привело к частичному сбросу вековых запасов грунтовых вод. Кроме того, уменьшение скорости ветра вызвало уменьшение суммарного испарения, что, в свою очередь, способствовало увеличению стока [2]. Для рек бассейна Немана и верхнего Днепра значительных изменений годового стока рек не установлено.

В подтверждение к сказанному в табл. 4 приводится структура внутригодового изменения стока рек Беларуси в 1986-2000 гг.

В 1986-2000 гг. наблюдалась внутригодовая трансформация стока. Модульные коэффициенты месячного стока рек бассейна Припяти и нижнего Днепра постоянно увеличивались за исключением некоторых месяцев в году. Для бассейна Западной Двины характерна тенденция к постоянному уменьшению стока в течение всего года. Реки бассейна Немана и верхний Днепра имеют переменный тренд изменения месячного стока, что в конечном итоге приводит к значению, близкому к нулевому, для года в целом.

УДК 556.512

Волчек А.А., Лукша В.В.

СТРУКТУРА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ГОДОВОГО СТОКА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

Средний годовой расход является устойчивой характеристикой оценки изменения речного стока, и только значительные нарушения формирования водных ресурсов могут сказаться на изменениях колебаний его значений. В то же время внутригодовое перераспределение стока может существенно и не повлиять на годовой сток. Поэтому наряду с исследованиями годовых расходов необходимо детальное изучение сезонных изменений стока рек.

На сегодняшний день имеется достаточно длинный (более 100 лет) ряд наблюдений за годовыми расходами воды Западной Двины, что позволяет на основании различных методов исследования получать результаты, свидетельствующие о вековых колебаниях стока реки и выделять периоды этих колебаний. Это позволит прогнозировать дальнейшие изменения водности реки в связи с прогнозируемым изменением климата.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходными данными для анализа внутренней структуры временных рядов годовых расходов воды послужили данные инструментальных наблюдений с 1877 до 2000 год (124 года) за водным режимом Западной Двины у г. Витебска. Также использовались измеренные данные суммарных годовых атмосферных осадков по метеостанции Витебск за 1947 – 2000 годы.

Сегодня исследование внутренней структуры временных рядов выполняется различными методами: построением разностных интегральных кривых, корреляционных, автокорре-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что для периода с 1947 г. по 2000 г. характерна определенная трансформация годового стока воды рек Беларуси и его внутригодового распределения. До 1985 г. для большинства водосборов наблюдалось уменьшение либо незначительное изменение стока, а, начиная с 1986 г., отмечено увеличение годового стока рек бассейна Припяти. В то же время, для рек Беларуси была характерна внутригодовая трансформация стока. В первый из рассматриваемых периодов наблюдалось уменьшение стока в осенние и зимние месяцы и увеличение весной и летом. В 1965-1985 гг. сток уменьшился в марте-мае, а для остальных месяцев характерно увеличение стока. Во время третьего исследуемого периода сток уменьшался в северной части страны и увеличивался на юге практически в течение всего года.

Отмеченные изменения стока воды рек Беларуси не выходят за пределы естественных колебаний и вызваны в большей степени природными факторами, чем антропогенными воздействиями.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Изменение климата Беларуси и их последствия / В.Ф. Логинов, Г.И. Сачок, В.С. Микуцкий, В.И. Мельник, В.В. Коляда; Под общ. ред. В.Ф. Логинова; Ин-т пробл. использования природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2003. – 330 с.
2. В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Г.В. Волобуева. Изменение ветрового режима на территории Беларуси в XX в. // Природные ресурсы. – 2005, № 4. – С. 5–11.

ляционных и спектральных функций, использованием спектрально-временного анализа (СВАН), причем каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Одним из наиболее предпочтительных методов считается спектральный анализ, основанный на разложении функций, графически представляемых как колебательный процесс, в ряд Фурье.

Цель спектрального анализа состоит в том, чтобы разложить временной ряд с циклическими компонентами в несколько синусоидальных и косинусоидальных функций с различной длиной волны. В результате спектрального анализа можно раскрыть несколько повторяющихся циклов различных длин в ряде времени, колебания значений в котором сначала напоминали случайный процесс.

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.

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

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 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 [1]:

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

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

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. Кроме того, как отмечается в [1], 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.

Совместный спектральный анализ годовых расходов воды и суммарных атмосферных осадков выполнялся с использованием кросс-периодограмм, показывающих зависимость кросс-амплитуды от периодов колебаний вышеназванных величин. Кросс-амплитуда A_k является мерой ковариации (среднее попарных произведений отклонений) между относительными периодами (частотами) колебаний двух рассматриваемых рядов.

Расчет и построение графиков показателей когерентности между циклическими компонентами двух рядов наблюдений (в нашем случае годовых расходов и суммарных годовых атмосферных осадков) позволяют оценить корреляционную связь между периодами колебаний стока и осадков, т.е. выделить наиболее существенные совместные периоды (частоты) колебаний. Графики показателей фазовых сдвигов дают возможность оценить асинхронность в периодичности колебаний осадков и стока.

В последнее время для более тонких исследований временных рядов применяется спектрально-временной анализ (СВАН). В этом методе спектры вариации вычисляются на скользящих временных отрезках (временное окно) и изображаются в виде СВАН-диаграмм. Длина окна не должна быть слишком малой, поскольку при этом уменьшается точность спектрального анализа, а также не дается четкого представления о низких частотах. Однако завышенная длина окна также не дает полной информации, так как при этом будут сглаживаться высокочастотные колебания. В нашем случае временное окно составило 40 лет, т.е. примерно треть полного периода (1877 – 2000 гг. – 124 года).

Спектр вариаций есть набор амплитуд гармонических составляющих, которые получаются спектральным разложением флуктуирующей величины на конкретном временном от-

резке. Периоды гармоник (или обратные им величины – частоты) на СВАН-диаграммах откладываются на вертикальной оси; время, отвечающее середине окна, – на горизонтальной. Глубина тона (степень зачерненности) отвечает соответствующей амплитуде. Более сильная зачерненность на диаграмме соответствует большей амплитуде спектра.

Повторяемость доминирующих ритмов выражается в виде более или менее продолжительных зачерненных полос. Этот признак показывает продолжительность существования ритмических изменений. Об интенсивности процессов можно судить по прилагаемым справа от СВАН-диаграммы легендам.

Определение параметра хаотизации также представляет собой вид спектрально-временного анализа. На оси абсцисс откладывается календарное время, а на оси ординат – степень «заполненности» спектра. Монохроматическому процессу соответствует нулевой уровень, а белому шуму – единица.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Значения годовых расходов воды и суммарных годовых атмосферных осадков были разделены на две группы, соответствующие 32 годам наблюдений – 1947-1978 и 1969-2000 годы. Преобразованные в периодограммы АЧХ годового стока Западной Двины, рассчитанные с помощью уравнений (3), (4) и (5), показаны на рис. 1.

Анализ рис. 1 показывает, что в рядах годового стока присутствуют циклические изменения с интервалами 4-5 и 10-12 лет, причем сами циклы различны как по длительности, так и по амплитудам. Циклическость колебаний годового стока Западной Двины изменилась с одного периода в 4 года за интервал 1947-1978 до двух в 4 и 11 лет за интервал 1969-2000 годы при одновременном четком выделении этих двух циклов.

Отмеченные изменения циклическости годового стока в первую очередь связаны с колебаниями такого стокообразующего фактора, как атмосферные осадки. Для подтверждения этого факта на рис. 2 приведены периодограммы суммарных годовых атмосферных осадков по метеостанции Витебск.

Для периодограмм суммарных годовых атмосферных осадков можно отметить общее выделение 2-4 и 8-12 летних циклов. В отличие от годового стока более синхронный ход графиков периодограмм здесь наблюдается в интервале 1947-1978 гг. Для более конкретного выделения совместных циклов колебаний осадков и стока на рис. 3 и 4 построены кросс-периодограммы и графики показателя когерентности между циклическими компонентами исследуемых величин.

Анализируя рис. 3 и 4, можно прийти к выводу, что для Западной Двины наиболее существенная связь между циклами изменений годового стока и атмосферных осадков наблюдается при 5-летних колебаниях за период 1947-1978 и 4, 16-летних циклах за период 1969-2000 гг.

В общем, большая часть протяженности графиков показателя когерентности лежит выше значимого коэффициента корреляции (0,7), что на оси y соответствует приблизительно значению $0,5 (\sqrt{0,5} \approx 0,70)$, что подтверждает синхронность циклическости изменения годового стока и атмосферных осадков.

ФЧХ годового стока, преобразованные в периодограммы и вычисленные с помощью (6) приведены на рис. 5.

Существенных изменений фазовых периодограмм двух рассматриваемых периодов в интервале периодов 0-7 лет не обнаружено (см. рис. 5). Можно отметить изменение формы фазовых периодограмм для периодов более 8 лет, что связано с такими же процессами в колебаниях атмосферных осадков и изменениями климата.

С целью подтверждения статистической значимости выявленных на периодограммах циклов построены автокорреляционная функция ряда годовых расходов воды Западной Двины за период 1877-2000 годы, график который показан на рис. 6.

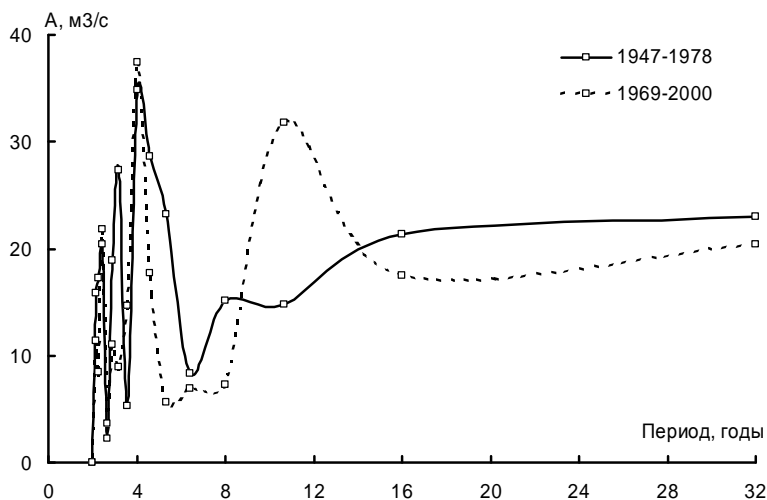


Рис. 1. Периодограммы годового стока за 1947-1978 и 1969-2000 гг. р. Западная Двина – г. Витебск

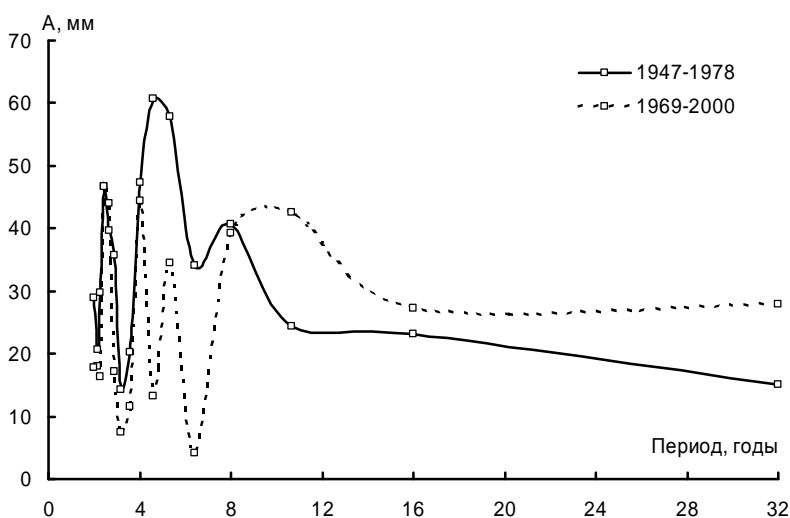


Рис. 2. Периодограммы суммарных годовых атмосферных осадков за 1947-1978 и 1969-2000 гг. по метеостанции Витебск

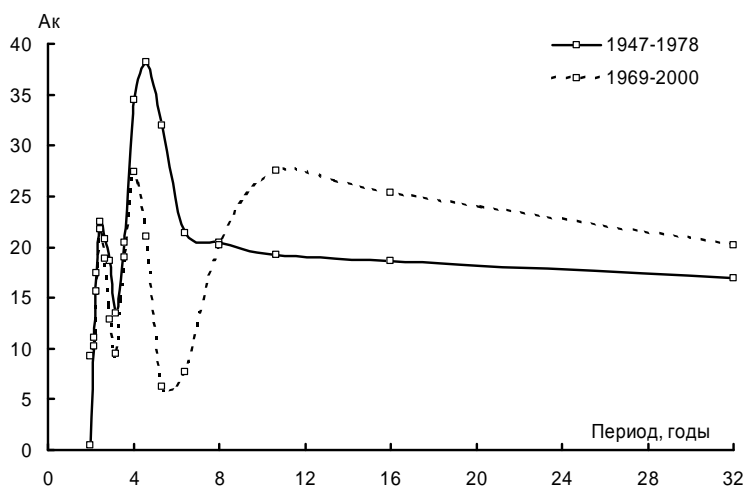


Рис. 3. Кросс-периодограммы суммарных годовых атмосферных осадков и годового стока за 1947-1978 и 1969-2000 гг. Витебск – р. Западная Двина - г. Витебск

При сопоставлении графика с доверительным интервалом «белого шума» 95%-ной вероятности превышения, приходим к выводу, что, по крайней мере, циклы длиной около 3 и 11 лет, регистрируемые периодограммами, неслучайны. Эта

длина циклов близка к среднearифметической периодичности всплесков, зафиксированных на данном временном интервале. При этом реальная длина циклов, как отмечалось выше, с течением времени изменялась.

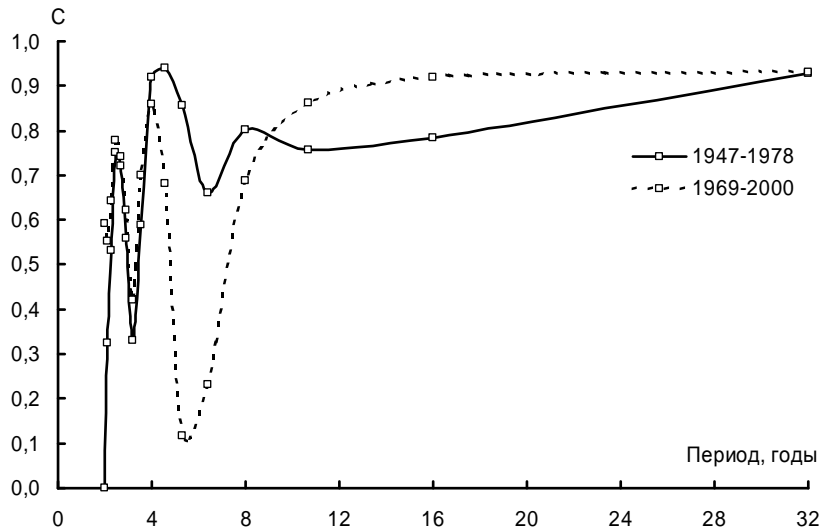


Рис. 4. Графики показателя когерентности годовых суммарных атмосферных осадков и годового стока за 1947-1978 и 1969-2000 гг. Витебск – р. Западная Двина - г. Витебск

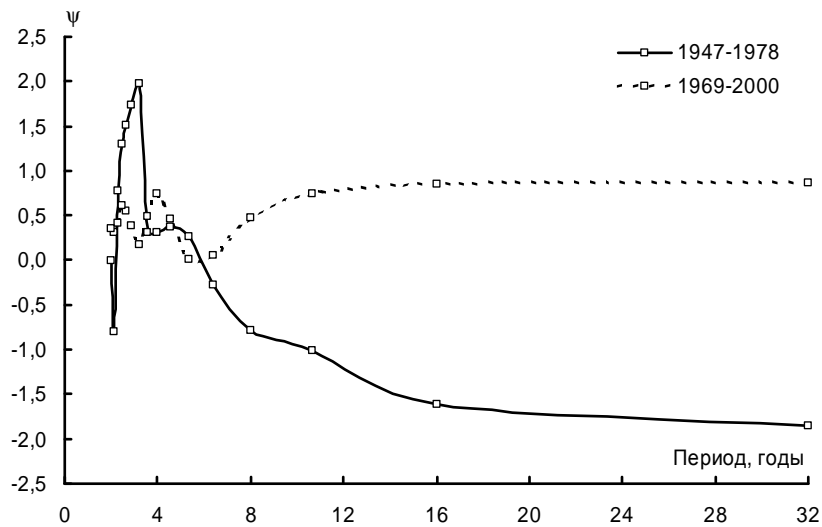


Рис. 5. Фазовые периодограммы годового стока за 1947-1978 и 1969-2000 гг. для р. Западная Двина – г. Витебск

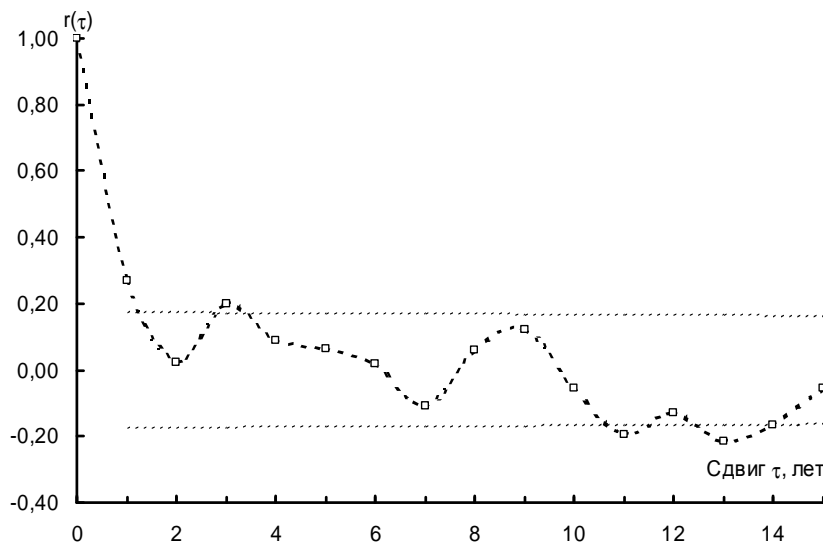


Рис. 6. Автокорреляционная функция годового стока р. Западная Двины – г. Витебск за весь период наблюдений (1877-2000 годы). Пунктирными линиями выделен доверительный интервал «белого шума» 95%-ной обеспеченности

Результаты использования СВАН анализа для определения цикличности ряда годового стока Западной Двины приведены на рис. 7.

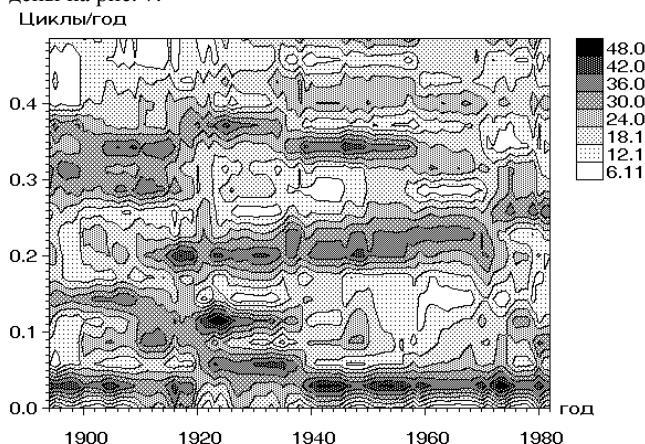


Рис. 7. СВАН-диаграмма годовых расходов воды р. Западная Двина – г. Витебск.

Анализируя рис. 7, можно отметить, что для годового стока р. Западная Двина – г. Витебск характерно несколько выдающихся циклов длительностью около 2,94 (1890 – 1920 гг.), 5,0 (1910 – 1980 гг.) и 25,0 (1910 – 1980 гг.) лет.

Важным критерием в исследовании устойчивости цикличности временных рядов стока является параметр хаотизации. На рис. 8 приведено распределение параметра хаотизации для годовых расходов р. Западная Двина – г. Витебск.

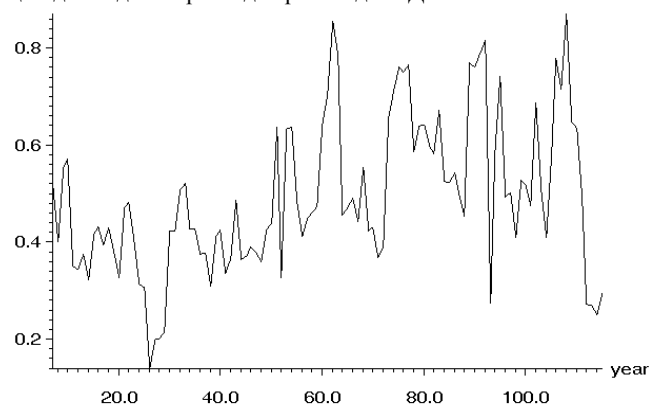


Рис. 8. Распределение параметра хаотизации временного ряда годовых расходов воды р. Западная Двина – г. Витебск.

УДК 628:651.01

Бахмат А.Б.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА (ВКХ)

ВВЕДЕНИЕ

Вода является природным ресурсом, от которого зависит во многом здоровье нации, стабильность всего народнохозяйственного комплекса. Резолюцией Генеральной ассамблеи ООН период с 2005 – по 2015 г. объявлен Международным десятилетием «Вода для жизни» в целях активизации деятельности по рассмотрению наиболее острых водных проблем.

Государственная система управления водным хозяйством,

Размах колебаний параметра хаотизации для р. Западная Двина – г. Витебск составил 0 до 0,9. Следует отметить, что наблюдается тенденция увеличения параметра хаотизации в последние годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании спектрального анализа годовых расходов воды выявлена цикличность колебаний речного стока Западной Двины. Отмечаются как короткопериодические (2-5 лет) и длиннопериодические (10-15 лет) циклы, при этом в интервале 1969-2000 лет амплитуды короткопериодических циклов имеют тенденцию к уменьшению, а длиннопериодические – к увеличению.

Совместный анализ годового стока и годовых атмосферных осадков с использованием кросс-спектрального анализа, графика показателя когерентности и фазового сдвига показал, что выделенные циклы колебаний стока тесно связаны с колебаниями осадков, в целом преобладают 4 и 11-летние циклы.

Закономерное изменение циклов говорит о том, что они представляют собой вынужденные колебания, формирующиеся под воздействием крупномасштабных мощных энергетических факторов.

Результаты, полученные с использованием спектрального анализа в виде разложения в ряд Фурье, практически не отличаются от полученных нами ранее с использованием спектрально-временного анализа (СВАН) и других независимых методов оценки межгодовой изменчивости модулей речного стока [2].

В заключение отметим, что спектральный анализ дает средства для отслеживания динамики различных циклов гидрологических рядов, а также оценки возможности применения таких видов анализа при создании статистических моделей прогнозирования водного режима рек. Совместный анализ СВАН-диаграмм и временных распределений параметров хаотизации показал устойчивость циклов, а, следовательно, возможность построения прогностических оценок для годового стока воды Западной Двины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Педан В.В. Анализ структуры временных рядов весенних максимальных уровней природных вод // Водные ресурсы, 2003. – том. 30. – №6. – С. 688-695.
2. Volchak A.A., Luksha V.V. Chronological structure of long-term alteration of river flow of Belarus // Материалы международной конференции «Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены» / ОПП НАН Беларусі. – Т.1. – Брест, 2002. – С. 183-187.

Бахмат Андрей Борисович, ассистент каф. экономики строительства Белорусского национального технического университета, магистр экономических наук.
Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.