

основанием для описания годовых расходов воды в виде простой цепи Маркова, т.е.

$$Q(t) = r(1) \cdot Q(t-1) + \xi(t), \quad (3)$$

где $Q(t)$ – расход воды текущего года; $Q(t-1)$ – расход воды в предшествующий год; $\xi(t)$ – независимая от Q случайная величина.

Первое слагаемое в правой части (3) можно трактовать как сток, обусловленный аккумуляцией водосборной части атмосферных осадков предшествующего года и сбросом их в русло реки в данном году. При этом случайная составляющая $\xi(t)$ в (3), очевидно, должна включать в себя и ту часть стока текущего года, которая сформирована за счет осадков этого года. В результате трансформируется в следующие уравнения [2]:

$$Q(t) = a \cdot Q(t-1) + b \cdot W_{oc}(t) + \xi(t_1), \quad (4)$$

$$Q(t) = c \cdot W_{oc}(t-1) + d \cdot W_{oc}(t) + \xi(t_2), \quad (5)$$

где $W_{oc}(t)$ и $W_{oc}(t-1)$ – годовые осадки текущего и предшествующего годов.

Располагая сопряженными временными рядами годовых значений атмосферных осадков и речного стока, коэффициенты a, b, c, d из (4) и (5) можно определить с помощью аппарата множественной регрессии. Применительно к бассейну Немана в замыкающем створе г. Гродно для годовых расходов воды, м³/с, получены следующие уравнения:

$$Q(t) = 0,059 \cdot Q(t-1) + 0,493 \cdot W_{oc}(t) + 71,02 + \xi(r_1), \quad (6)$$

$$Q(t) = 0,205 \cdot W_{oc}(t) + 0,120 \cdot W_{oc}(t-1) - 9,173 + \xi(t_2). \quad (7)$$

Коэффициент множественной корреляции между стоком и определяющими факторами для уравнения (6) составляет $R=0,48 > R^T_{(45, 5\%)}=0,29$, при этом в интервал $\pm 5\%$ попало 40,4% всех точек; $\pm 10\%$ – 55,3%; $\pm 15\%$ – 74,5%; $\pm 20\%$ – 87,2%.

Коэффициент множественной корреляции между стоком и определяющими факторами для уравнения (11) составляет $R=0,58 > R^T_{(45, 5\%)}=0,29$, при этом в интервал $\pm 5\%$ попало 27,7% всех точек; $\pm 10\%$ – 63,8%; $\pm 15\%$ – 74,5%; $\pm 20\%$ – 93,6%.

УДК 550.34 (476)

Волчек А.А., Лукша В.В., Волчек Ан.А., Грядунова О.И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ МАКСИМАЛЬНЫХ И МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ОСНОВНЫХ РЕК БЕЛАРУСИ

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время возросли масштабы катастрофических наводнений и затяжных засух, которые приводят к огромному экономическому ущербу. Поэтому исследование гидрологического режима и его изменений является одним из приоритетных направлений современной науки.

Целью данной работы является анализ временных рядов максимального и минимального расходов воды основных рек Беларуси. Это представляет большой интерес, так как минимальный сток определяет состояние экосистем, а максимальный важен с точки зрения экономического ущерба, причина-

нами предпринята попытка описать годовые колебания расходов воды р. Неман – г. Гродно с помощью сложной модели Маркова со сдвижкой до 50 лет. Регрессионно-корреляционный анализ показал, что для построения модели могут использоваться $Q(t-1)$; $Q(t-10)$ и $Q(t-37)$, частный вид модели можно записать

$$Q(t) = 0,139 \cdot Q(t-1) + 0,195 \cdot Q(t-10) - 0,199 \cdot Q(t-37) + 168,983 + \xi(t) \quad (8)$$

Коэффициент множественной корреляции для уравнения (8) составляет $R=0,33 > R^T_{(144, 5\%)}=0,155$, при этом в интервал $\pm 5\%$ попало 27,1% всех точек; $\pm 10\%$ – 47,9%; $\pm 15\%$ – 62,5%; $\pm 20\%$ – 84,3%.

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик годовых расходов воды р. Неман – г. Гродно за почти 200 летний период позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике годового стока обусловлено как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Стационарность процесса многолетних колебаний годового стока Немана можно отмечать лишь на отдельных отрезках временного ряда. При анализе закономерностей многолетних колебаний годового стока рек использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик». – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2000. – 174 с.
2. Исмайлыв Г.Х., Федоров В.М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги / Водные ресурсы, 2001, том 28, №5, с. 517–525.
3. Раткович Д. Я. Многолетние колебания речного стока. – Л.: Гидрометеониздат, 1976. – 255 с.
4. Христофоров А.В. Теория случайных процессов в гидрологии. М.: Из-во МГУ, 1994. – 141 с.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. Вып. 1. – 406 с.

мого наводнениями. Кроме того, анализ временных рядов необходим при разработке моделей прогнозирования.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходными данными послужили материалы наблюдений на гидрологической сети за максимальными расходами воды весеннего половодья и минимальными летне-осенними расходами воды по основным рекам Беларуси (р. Припять – г. Мозырь, р. Неман – г. Гродно, р. Западная Двина – г. Витебск, р. Березина – г. Бобруйск, р. Днепр – г. Орша, р. Днепр –

Лукша Владимир Валентинович, к.т.н., старший преподаватель каф. оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии Брестского государственного технического университета.

Волчек Анастасия Александровна, младший научный сотрудник лаборатории проблем органического вещества мелиорированных почв Белорусского Полесья Отдела проблем Полесья НАН Беларуси.

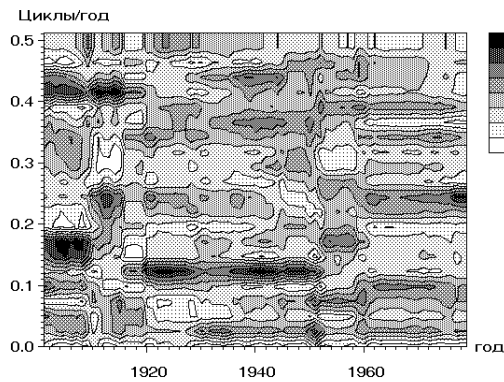
Беларусь, ОПП НАН Беларуси, 224020, г. Брест, ул. Московская, 204.

Грядунова Оксана Ивановна, преподаватель каф. физической географии и охраны природы.

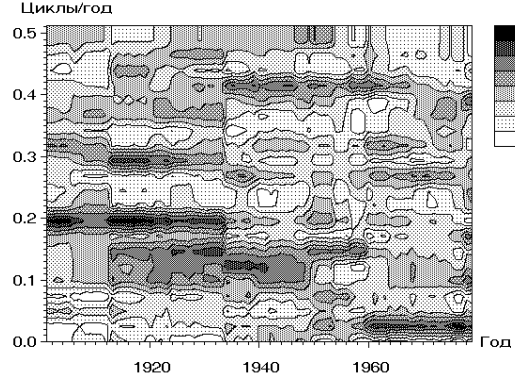
Беларусь, БрГУ им. А. С. Пушкина, 224016, г. Брест, б-р Космонавтов, 21.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

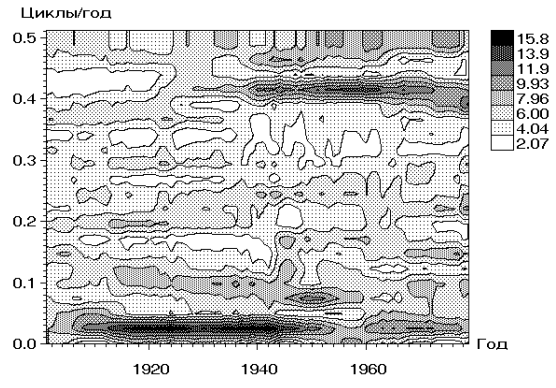
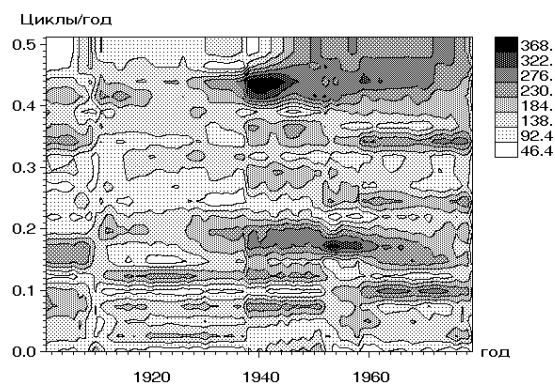
Максимальные расходы



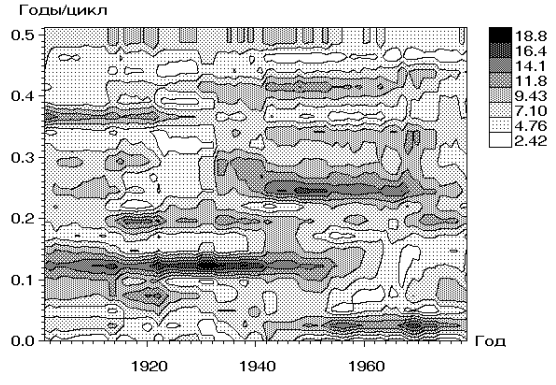
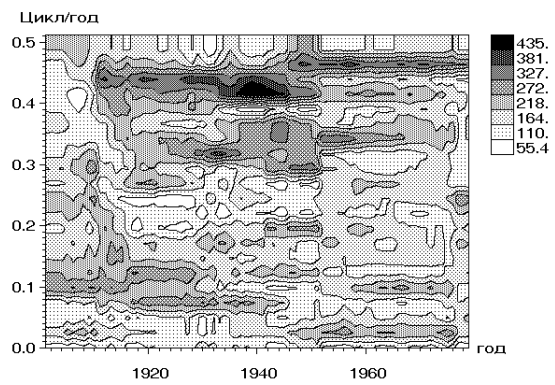
Минимальные расходы



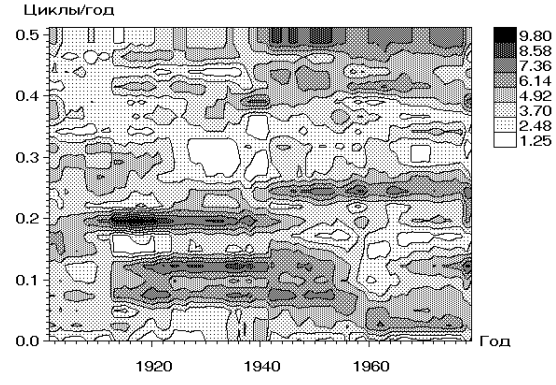
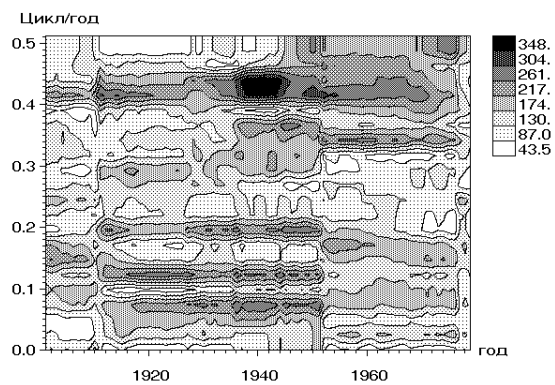
а) Припять – г. Мозырь



б) Неман – г. Гродно



в) Западная Двина – г. Витебск



г) Березина – г. Бобруйск

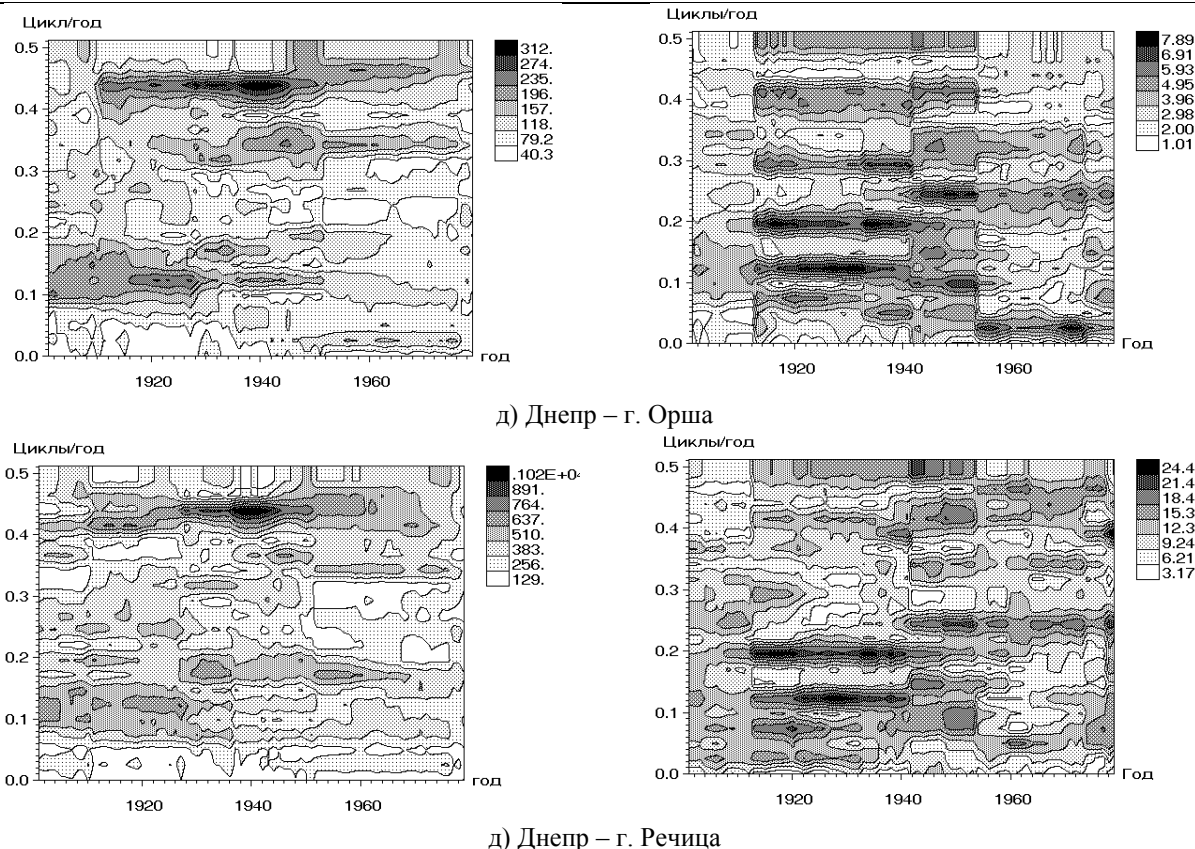


Рис. 1. СВД-диаграммы максимальных и минимальных расходов воды рек Беларуси: а) р. Припять – г. Мозырь, б) р. Неман – г. Гродно, в) р. Западная Двина – г. Витебск, г) р. Березина – г. Бобруйск, д) р. Днепр – г. Орша, е) р. Днепр – г. Речица.

г. Речица) с периодом наблюдений – 1881 – 2000 гг., т. е. – 120 лет. Временные ряды инструментальных наблюдений за расходами воды проверялись на однородность и наличие пропусков в рядах наблюдений. В случае пропусков или недостоверных данных осуществлялось их восстановление с помощью программного комплекса «Гидролог» [1].

В последнее время для более тонких исследований временных рядов применяется спектрально-временной анализ (СВАН). В работе [2] выполнен анализ годового стока рек и озер Беларуси. В этом методе спектры вариации вычисляются на скользящих временных отрезках (временное окно) и изображаются в виде СВД-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. треть полного периода (1881 – 2000 гг. – 120 лет). По этой причине СВД-диаграммы охватывают временной отрезок с 1900 по 1980 гг.

Спектр вариаций есть набор амплитуд гармонических составляющих, которые получаются спектральным разложением флуктуирующей величины на конкретном временном отрезке. Периоды гармоник (или обратные им величины – частоты) на СВД-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. Метод используется для анализа многих временных рядов.

Повторяемость доминирующих ритмов выражается в виде более или менее продолжительных зачерненных полос. Этот признак показывает продолжительность существования ритми-

ческих изменений. Об интенсивности процессов можно судить по прилагаемому справа от СВД-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.

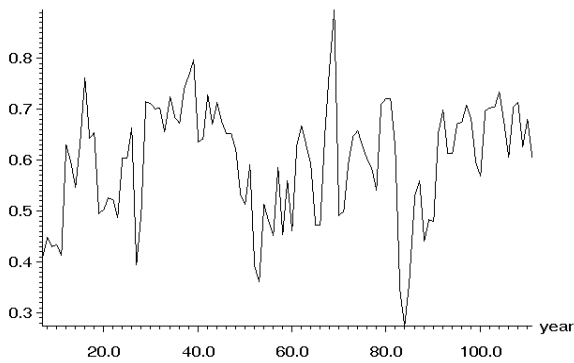
Анализ диаграмм показал следующие закономерности (таблица).

Анализ СВД-диаграмм максимального стока показал, что для р. Припять – г. Мозырь характерны достаточно много непродолжительных выделяющихся циклов длительностью около 2,04 (1910 – 1930 гг.), 2,27 (1930 – 1946 гг.), 2,38 (1900 – 1920 гг.), 2,70 (1930 – 1962 гг.), 4,17 (1910 – 1944, 1942 – 1980 гг.), 5,88 (1900 – 1910 гг.), самый мощный цикл – 7,69 (1916 – 1942 гг.), 20,0 (1936 – 1978 гг.), 33,3 лет (1928 – 1976 гг.). Для р. Неман – г. Гродно характерны циклы с продолжительностью 2,33 (1927 – 1980 гг.) – самый мощный цикл, 2,94 (1955 – 1980 гг.), 5,88 (1927 – 1976 гг.), 8,33 (1912 – 1952 гг.), 10,2 (1953 – 1979 гг.) и 14,3 лет (1911 – 1952 гг.). Для р. Западная Двина – г. Витебск возможно выделение следующих циклов 2,13 (1947 – 1980 гг.), 2,32 (1909 – 1976 гг.) – наиболее мощные циклы, 2,78 (1942 – 1967 гг.), 3,17 (1922 – 1954 гг.), 5,00 (1942 – 1961 гг.), 9,09 (1900 – 1933 гг.) и 12,5 лет (1917 – 1946 гг.). Для Березины у г. Бобруйска наблюдаются циклы с продолжительностью 2,04 (1948 – 1976 гг.), самый мощный цикл – 2,40 (1910 – 1977 гг.), 2,98 (1937 – 1977 гг.) и три цикла 5,05, 8,13, 14,3 лет практически с одинаковой продолжительностью (1910 – 1952 гг.). Для максимального стока реки Днепр как у г. Орша, так и у г. Речица характерны три цикла, при этом первые являются самыми мощными. Их продолжительность составляет 2,27 (1910 – 1971 гг.), 2,86 (1920 – 1978 гг.), 7,69 (1900 – 1932 гг.) и 2,28 (1910 – 1964 гг.), 5,56 (1927 – 1969 гг.), 8,70 лет (1900 – 1938 гг.) соответственно для Днепра у г. Орша и у г. Речица.

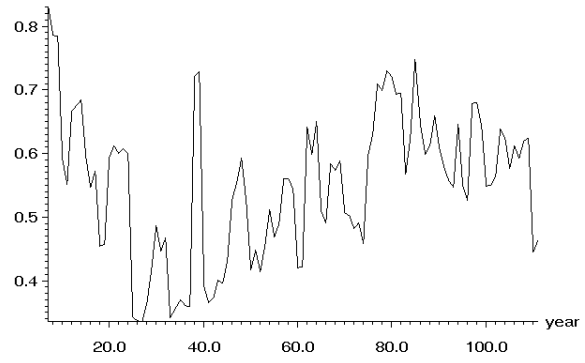
Таблица. Цикличность временных рядов расходов воды рек Беларуси (СВАН-анализ)

Река-створ	Период, год
Максимальный сток	
Припять – г. Мозырь	2,04; 2,27; 2,38; 2,70; 4,17; 5,88; 7,69; 20,0; 33,3
Неман – г. Гродно	2,33; 2,94; 5,88; 8,33; 10,2; 14,3
Западная Двина – г. Витебск	2,13; 2,32; 2,78; 3,17; 5,00; 9,09; 12,5
Березина – г. Бобруйск	2,04; 2,40; 2,98; 5,05; 8,13; 14,3
Днепр – г. Орша	2,27; 2,86; 7,69
Днепр – г. Речица	2,28; 5,56; 8,70
Минимальный сток	
Припять – г. Мозырь	2,44; 3,45; 5,26; 6,67; 7,69; 33,4
Неман – г. Гродно	2,38; 14,3; 41,7
Западная Двина – г. Витебск	2,43; 2,74; 4,02; 5,13; 8,33; 50,0
Березина – г. Бобруйск	2,02; 2,39; 4,13; 5,10; 8,33; 12,5; 33,3
Днепр – г. Орша	2,03; 2,44; 3,13; 3,45; 3,91; 5,05; 8,33; 14,3; 29,4; 50,0
Днепр – г. Речица	2,04; 2,22; 3,03; 4,03; 5,00; 8,22; 13,3; 33,3

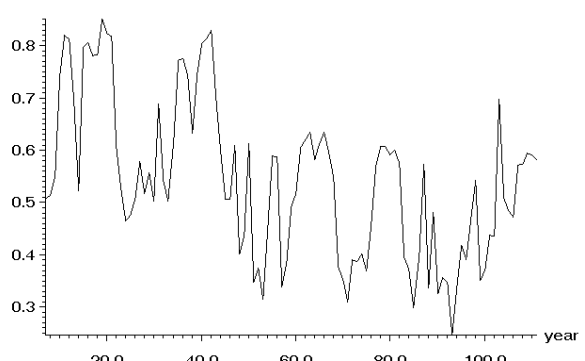
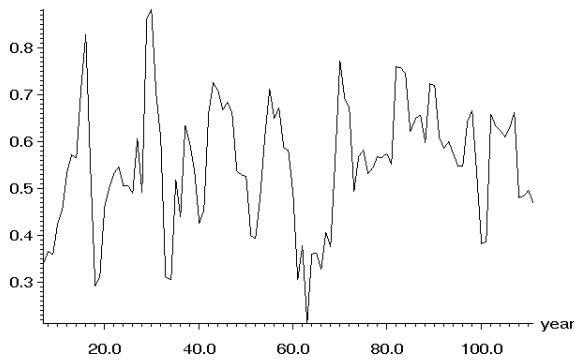
Максимальные расходы



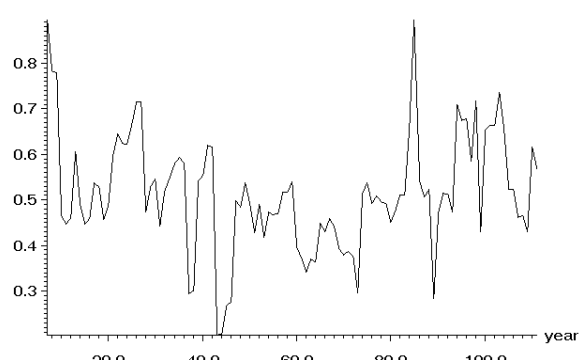
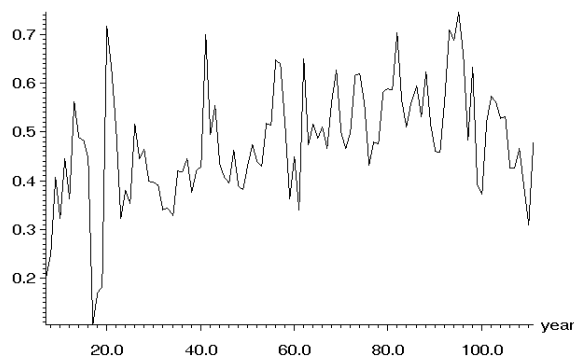
Минимальные расходы



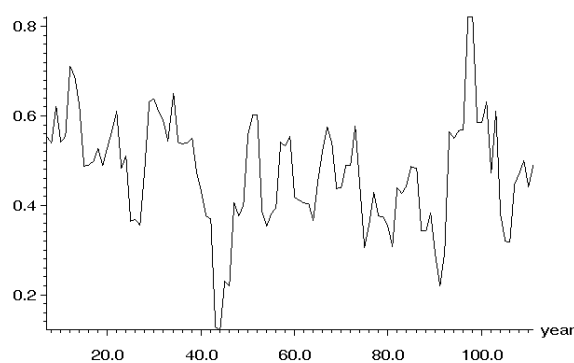
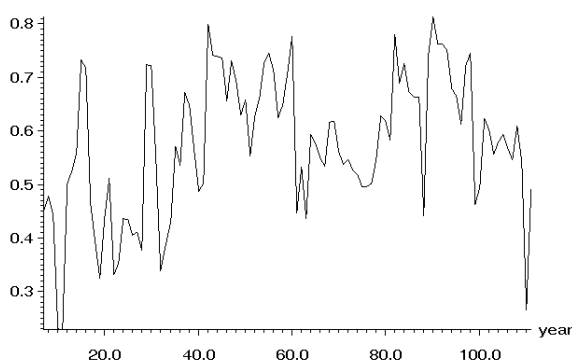
а) Припять – г. Мозырь



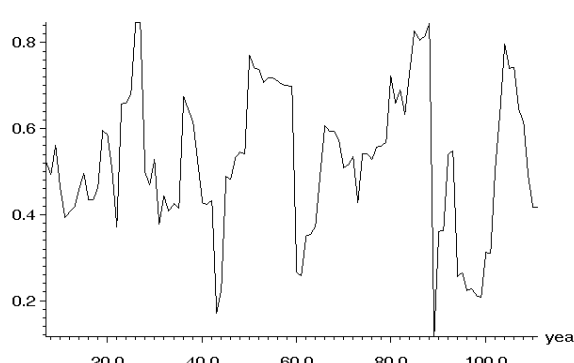
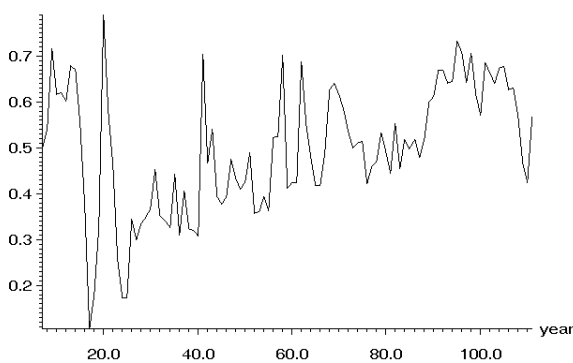
б) Неман – г. Гродно



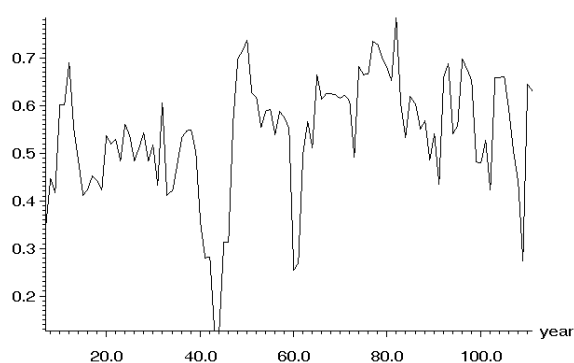
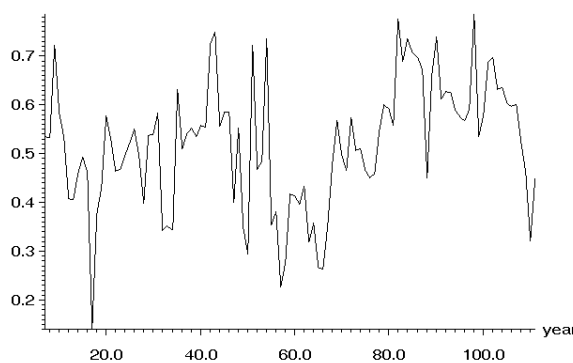
в) Западная Двина – г. Витебск



г) Березина – г. Бобруйск



д) Днепр – г. Орша



д) Днепр – г. Речица

Рис. 2. Распределение параметра хаотизации временных рядов максимального и минимального расходов воды основных рек Беларуси: а) р. Припять – г. Мозырь, б) р. Неман – г. Гродно, в) р. Западная Двина – г. Витебск, г) р. Березина – г. Бобруйск, д) р. Днепр – г. Орша, е) р. Днепр – г. Речица.

Для СВАН-диаграмм максимального стока наблюдается общая картина преобладания мощных циклов с обертонами около 2,0 - 3,0 в верхней части диаграмм, кроме Припяти, что можно объяснить различными условиями формирования стока, рельефом местности, геологическими и гидрогеологическими условиями Белорусского Полесья.

Анализируя СВАН-диаграммы минимального стока, можно отметить, что для Припяти у г. Мозырь возможно выделение следующих циклов – 2,44 (1948 – 1954 гг.), 3,45 (1934 – 1970 гг.), 5,26 (1900 – 1934 гг.), самые мощные циклы – 6,67 (1900 – 1944 гг.) и 7,69 (1932 – 1960 гг.), 33,4 (1951 – 1980 гг.). Для Немана у г. Гродно характерны циклы с продолжительностью 2,38 (1940 – 1979 гг.), мощные циклы 14,3 (1930 – 1980 гг.) и 41,7 (1900 – 1955 гг.). Западная Двина у Витебска имеет несколько выдающихся циклов с периодами 2,43 (1929 – 1973 гг.), 2,74 (1900 – 1929 гг.), 4,02 (1932 – 1978 гг.), 5,13

(1913 – 1944 гг.), самый мощный цикл – 8,33 (1900 – 1959 гг.) и 50,0 (1942 – 1978 гг.). Для Березины у Бобруйска доминирующие периоды складываются из циклов с продолжительностью 2,02 (1938 – 1980 гг.), 2,39 (1939 – 1971 гг.), 4,13 (1938 – 1980 гг.), сравнительно мощные циклы 5,10 (1908 – 1947 гг.) и 8,33 (1912 – 1956 гг.), 12,5 (1912 – 1960 гг.) и 33,3 года (1960 – 1979 гг.). Для Днепра у Орши выделяются циклы с периодом 2,03, 2,44, 3,13, 3,45, 5,05, 8,33, 14,3 (1912 – 1954 гг.), 3,91 (1933 – 1980 гг.), 29,4 (1932 – 1954 гг.), 50,0 (1954 – 1980 гг.), в то время как Днепра у Речицы они следующие – 2,04 (1912 – 1955 гг.), 2,22 (1938 – 1978 гг.), 3,03 (1942 – 1978 гг.); 4,03 (1938 – 1980 гг.), наиболее выдающиеся циклы 5,00 (1912 – 1955 гг.) и 8,22 (1912 – 1955 гг.), 13,3 (1913 – 1954 гг.), 33,3 года (1913 – 1936 гг.).

В отличие от СВАН-диаграммы максимального стока от минимального существенно различаются для рек Беларуси.

Это может быть связано с генетическими условиями формирования минимальных расходов, различными уровнем антропогенной нагрузки на водосборы рек и особенностями грунтового питания рек различных регионов Беларуси. Существенный разброс в значениях продолжительности циклов минимального стока (часто встречаются циклы с обертонами порядка 30 - 50) возможен в связи с относительной неорганизованностью (отсутствием дружности) формирования минимальных расходов по отношению к максимальным, имеющим часто непродолжительные пикообразные гидрографы.

На рис. 2 приведены распределения параметра хаотизации для различных рек Беларуси.

Для р. Припять – г. Мозырь в начале 60-х гг. отмечается спад параметра хаотизации до 0,28, а затем постепенный подъем до 0,72. В 1949 г. произошел скачок до 0,9. В основном размах колебаний от 0,4 до 0,8 для максимального стока. В 1900 – 1920 гг. параметр снизился до 0,33 и для минимального стока, затем происходит рост, размах колебаний от 0,4 до 0,7. Для р. Припять – г. Мозырь как для максимального, так и для минимального стоков в последние годы XX века наблюдается рост этого параметра.

В начале прошлого века размах колебаний был велик – от 0,3 до 0,9. В 1944 г. происходит резкое понижение параметра хаотизации до 0,2, а затем постепенный рост и снижение размаха колебаний (от 0,45 до 0,75) для максимального стока. Для минимального стока р. Неман – г. Гродно наблюдается обратная картина: снижение параметра хаотизации и увеличение размаха колебаний.

В 1898 г. наблюдалось минимальное значение параметра хаотизации (0,1) для максимального стока р. Западная Двина – г. Витебск. Однако в основном амплитуда колебаний параметра хаотизации колеблется от 0,35 до 0,7. Данный параметр для минимального стока имеет наименьшее значение в 1925 г. (0,2) и затем постепенно увеличивается, а наибольший пик наблюдается в 1966 г. (0,9).

Для максимального стока р. Березина – Бобруйск параметр хаотизации растет до 1939 г., размах колебаний в этот период составляет от 0,35 до 0,8. Период 1939 – 1961 гг. параметр снизился и находился в пределах 0,45 – 0,6, затем наблюдается рост параметра (до 0,8) и в 1979 г. опять начинается спад до 0,25 (1991 г.). Для минимального стока этой реки характерен наибольший пик в 1977 г. (0,8) и наименьшее значение наблюдалось в 1925 г. (0,1), размах колебаний составил в период 1881 – 1921 гг. от 0,36 до 0,7, в период 1929 – 1971 гг. – от 0,25 до 0,6.

Минимальное значение параметра хаотизации для максимального стока р. Днепр – г. Орша зафиксировано в 1898 г. (0,1), а максимальное значение – в 1903 г. (0,8). Затем наблю-

дается постепенный рост параметра с размахом колебаний от 0,3 до 0,7. Иначе обстоит дело с минимальным стоком этой реки; здесь наблюдается чередование пиков и спадов: с начала периода наблюдений и до 1910 г. идет подъем (от 0,37 до 0,84), затем до 1924 г. происходит спад до 0,18, далее снова подъем до 1939 г., и с 1941 г. начинается возрастание параметра хаотизации. Наименьшее значение этого параметра было зафиксировано в 1970 г. (0,1), а пики значений приходятся на 1910 (0,84), 1933 (0,76), 1969 (0,84), 1985 (0,78).

Размах колебаний хаотического параметра для максимального стока р. Днепр – г. Речица составляет от 0,14 до 0,8; наибольшие значения были в 1967 г. (0,77) и в 1981 г. (0,78), а наименьшее – в 1898 г. (0,14). Для всего графика наблюдается постепенное возрастание параметра за исключением периода 1936 – 1947 гг. (размах колебаний был небольшим от 0,24 до 0,44). Для минимального стока р. Днепр – г. Речица параметр хаотизации определяется тремя пиками – 1893 г. (0,69), 1931 г. (0,73), 1964 г. (0,78) – и тремя спадами 1924 г. (0,13), 1940 г. (0,26), 1990 г. (0,28). Как видно из графика максимальные и минимальные значения параметра с каждым циклом увеличиваются и наблюдается общая тенденция возрастания параметра хаотизации.

ВЫВОДЫ

В заключение отметим, что спектрально-временной анализ дает средства для отслеживания динамики различных циклов гидрологических рядов, а также оценки возможности применения такого 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 минимального стока воды рассматриваемых рек, и в меньшей степени выделяются циклы для максимальных расходов воды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Волчек А. А. Автоматизация гидрологических расчетов // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: Труды международной научно-практической конференции / Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – с. 55 – 59.
2. Логинов В. Ф., Иконников В. Ф. Спектрально-временной анализ уровня режима озер и колебаний расходов воды крупных рек Беларуси // Природопользование. Сб. науч. тр. // Под ред. И. И. Лиштвана, В. Ф. Логинова. Вып. 9. Ин-т проблем использования природ. Ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Мн.: ОДО «Тонпик», 2003. – с. 25 – 33.

УДК 551.579.5 (476)

Шпендик Н.Н.

РЕСУРСЫ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ БЕЛАРУСИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТЕНДЕНЦИИ КОЛЕБАНИЙ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Почвенная влага является одной из главных составляющих водного баланса, и это единственный источник водопотребления, существования и развития природных экосистем. Она является связующим звеном в единстве поверхностных и подземных вод и формирует свои запасы за счет атмосферных

осадков, просачивающихся в толщу почвенного покрова. К сожалению, количественные и режимные характеристики этой части водных ресурсов в настоящее время изучены недостаточно.

В задачу наших исследований входило дать количественную оценку среднесуточных продуктивных влагозапасов

Шпендик Наталья Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории рационального использования водных ресурсов Белорусского Полесья.

Отдел проблем Полесья НАН Беларуси. Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 204.