

УДК 556.181(476)

ВРЕМЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ВЛАГОЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВ ПОЛЕСЬЯ

канд. геол. наук, доц. А.А. ВОЛЧЕК, Н.Н. ШПЕНДИК
(Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест)

Представлен анализ временных рядов продуктивных влагозапасов минеральных почв Полесья. Исследование внутренней структуры оценивалось с помощью спектрального анализа, регрессионно-корреляционного анализа, автокорреляционных функций, СВАН-анализа.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике влажности почвы Белорусского Полесья, обусловленных естественно-климатическими изменениями гидрологического цикла. Полученные результаты могут найти практическое применение при прогнозировании продуктивных влагозапасов минеральных почв Беларуси.

Введение. Влажность почвы является важной интегральной гидрологической характеристикой и необходима для решения многих теоретических и практических задач водного хозяйства. К сожалению, из всех элементов водного и водохозяйственного балансов данная составляющая наименее изучена, особенно остаются открытыми вопросы прогнозирования динамики влагозапасов.

В настоящее время методы прогнозов почвенных влагозапасов базируются на принятии гипотезы стационарности естественного процесса многолетних колебаний влажности почвы, т.е. возможности переноса режимных характеристик прошлого в будущее в их неизменном виде.

Параллельно с концепцией случайности многолетних колебаний используется противоположная концепция цикличности, т.е. повторяемое, или обратимое, чередование величин влажности во времени. Сложность в использовании циклов для прогноза влагозапасов заключается в их аперiodичности, так как фаза, амплитуда и длительность цикла меняются, не обнаруживая видимых закономерностей, наличие существенной антропогенной нагрузки еще более усложняет происходящие процессы. Кроме того, пока нет единого мнения о природе этих циклов. Считается, что циклы обусловлены либо влиянием временных (космофизических факторов), либо автоколебательными процессами в системе атмосфера – гидросфера Земли, либо естественными свойствами любой случайной последовательности. Вместе с тем использование принципа цикличности (квазипериодичности) при анализе и прогнозе многолетних колебаний влажности почвы имеет право на жизнь, поскольку цикличность является основным свойством процессов [1].

Материалы и методика исследования. Исходными данными для анализа колебаний почвенных влагозапасов послужили материалы наблюдений за продуктивными влагозапасами слоя почвы (50 см) на метеостанциях, расположенных на территории Белорусского Полесья, за период инструментальных наблюдений в месячном разрезе. За базовый принят временной ряд продуктивных влагозапасов вегетационного периода слоя минеральных почв (50 см) метеостанции Василевичи. Метеостанция Василевичи расположена в центре Белорусского Полесья и является типичной станцией этого региона. Длина исследуемого временного ряда составляет 41 год (с 1960 по 2001 гг.).

Исследование внутренней структуры временных рядов оценивалось с помощью спектрального анализа, основанного на разложении функций, графически представляемых как колебательный процесс, в ряд Фурье.

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.

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

или

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

где n – номер гармоники; $\omega_1 = 2\pi f_1$ – 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 -й гармоники.

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

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

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

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 [2]:

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

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

Как известно, величины A_n и D_n взаимосвязаны ($D_n = A_n^2/2$ – для крайних; $D_n = A_n^2$ – для промежуточных значений n). С практической точки зрения важнее представляется провести анализ АЧХ спектра, определяющих 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 [3].

В дополнение к вышеописанному анализу цикличности колебаний продуктивных влагозапасов использовались разностные интегральные кривые продуктивных влагозапасов. Интегральные кривые продуктивных влагозапасов построены в относительных величинах $\left(K_i = \frac{W_i}{\bar{W}} \right)$.

Ординаты разностной интегральной кривой влагозапасов определялись последовательным суммированием модульных коэффициентов хронологического ряда продуктивных влагозапасов K_i , от их среднего многолетнего значения $\bar{K} = 1$, т.е. установлена зависимость $\sum (K_i - 1) / C_v = f(T)$.

Когда тренд явно не выражен, необходимо рассматривать совместно выборочные автокорреляционную (АКФ) и частную автокорреляционную (ЧАКФ) функции данного процесса, с помощью которых определяется характер изменения продуктивных влагозапасов стока рек.

Проведение более тонких исследований амплитудно-частотных характеристик процесса требует применения спектрального анализа. Для обнаружения характерных ритмов, анализа их устойчивости или, наоборот, изменчивости во времени, нами использована процедура спектрально-временного анализа (СВАН), который представляет спектральный анализ в скользящем временном окне. Длина окна выбирается исходя из требований получить данные о гармониках в наиболее широком частотном диапазоне, из требуемой детальности фактического частотного состава процесса. При слишком малом окне теряется информация о низких частотах, а при большом окне СВАН-диаграмма становится слишком зарегулированной. В нашем случае величина временного окна принята 11 лет. Выбор такой длины временного окна диктуется методическими соображениями, поскольку она составляет примерно одну треть от длины имеющегося временного ряда, что позволяет проследить изменчивость статистических свойств и, кроме того, достаточно велика, чтобы усреднить влияние известных климатических факторов, например, 11-летней периодичности солнечной активности.

Обсуждение результатов. В таблице представлены выборочные оценки основных статистических параметров временных рядов продуктивных влагозапасов вегетационного периода по метеостанциям Белорусского Полесья.

Основные статистические характеристики продуктивных влагозапасов вегетационного периода

Метеостанции	Период наблюдений, гг.	Среднее значение, \bar{w} , мм	Коэффициент ариации C_v	Коэффициент асимметрии C_s	Коэффициент автокорреляции $r(1)$
Василевичи	1960 – 2001	53	0,32	-0,85	0,03
Ганцевичи	1983 – 2001	61	0,44	0,50	0,55
Ивацевичи	1983 – 2001	55	0,23	0,95	0,22
Полесская	1968 – 2001	41	0,84	2,76	0,30

Анализ временных рядов продуктивных влагозапасов показал: они подчиняются нормальному закону распределения вероятностей, что наглядно видно из рисунка 2 и подтверждается специальным анализом.

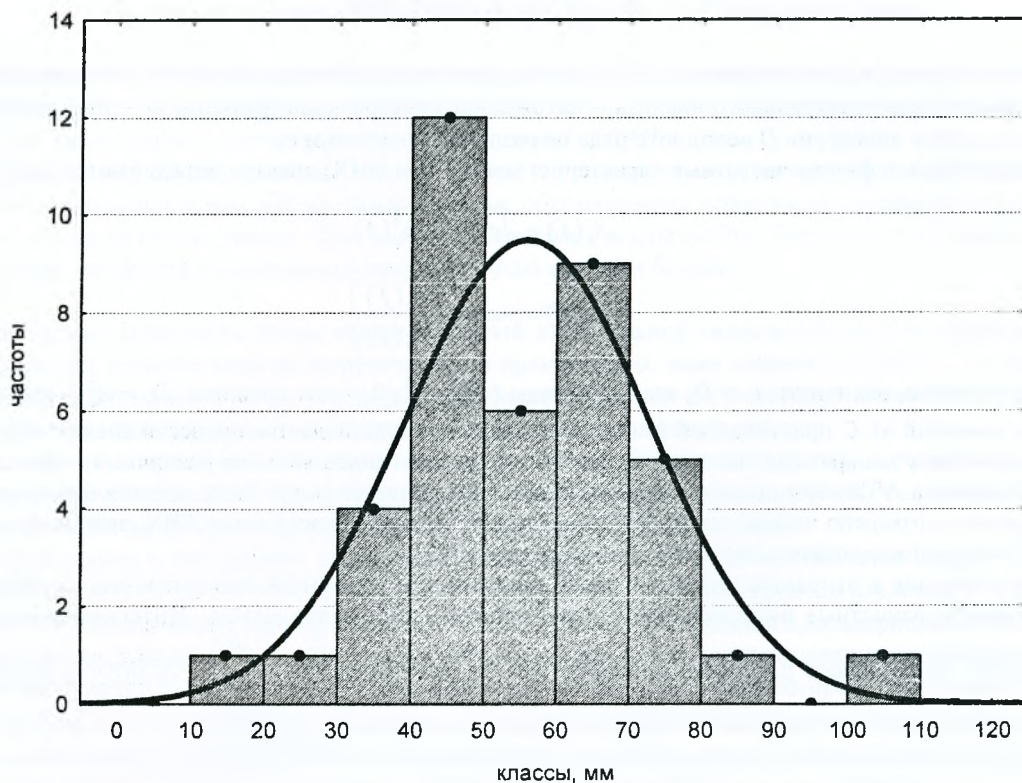


Рис. 1. Гистограмма распределения средних за вегетационный период продуктивных влагозапасов (ст. Василевичи)

На рисунке 2 представлен хронологический ход продуктивных влагозапасов вегетационного периода. На гидрографе прослеживается некоторая цикличность колебаний: в период с 1960 по 1970 годы наблюдается увеличение влагозапасов; с 1970 по 1980 – спад влагозапасов. Надо отметить уменьшение размаха колебаний продуктивных влагозапасов, начиная с 1980 года.

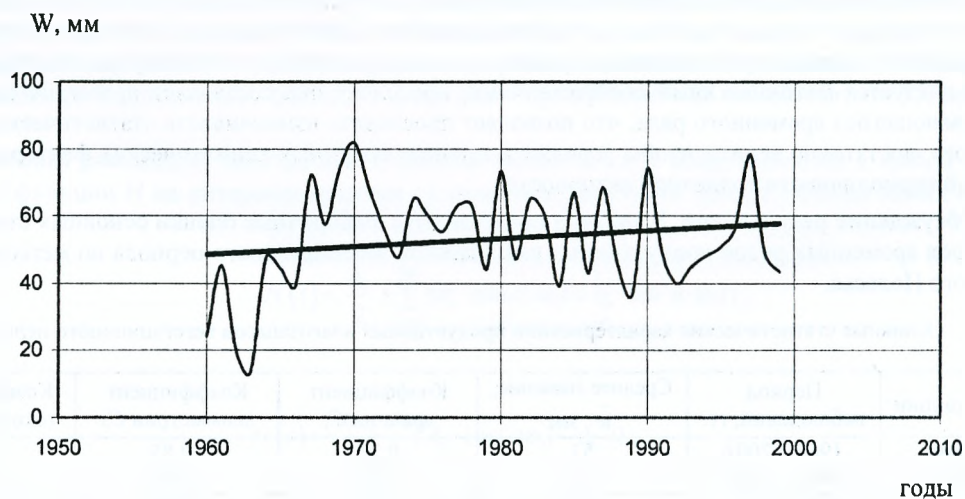


Рис. 2. Гидрограф продуктивных влагозапасов минеральных почв ст. Василевичи

Для выявления влияния трансформации климата на цикличность в колебаниях значений продуктивных влагозапасов исследуемый временной ряд разделен на два интервала, соответствующие 32 годам наблюдений: 1960 – 1991 и 1970 – 2001 годы.

Преобразованные в периодограммы АЧХ продуктивные влагозапасы минеральных почв показаны на рисунке 3.

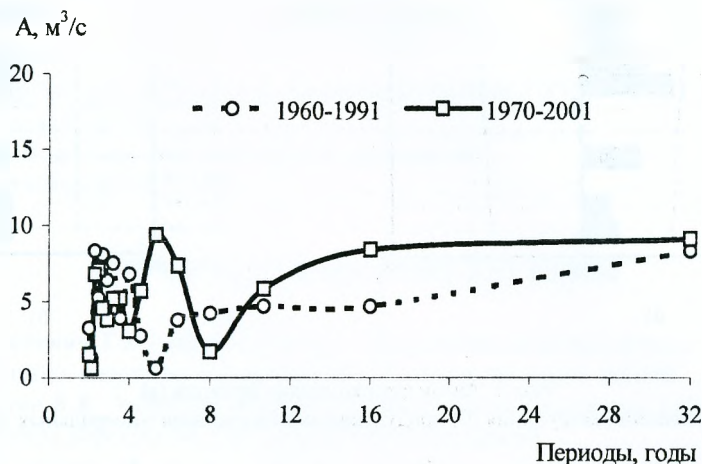


Рис. 3. Периодограммы продуктивных влагозапасов за 1960 – 1991 и 1970 – 2001 годы

Цикличность колебаний продуктивных влагозапасов на метеостанции Василевичи изменилась с одного периода в 3 года (1960 – 1991 гг.) до 3 и 6 лет (1970 – 2001 гг.) при одновременном четком выделении этих двух циклов. При этом в интервале лет (1970 – 2001) амплитуды короткопериодических циклов имеют тенденцию к уменьшению, а длиннопериодические – к увеличению.

Разностные интегральные кривые показывают неустойчивость формирования влагозапасов, наличие ветвей подъема и спада, наличие длиннопериодических и короткопериодических циклов, их изменения.

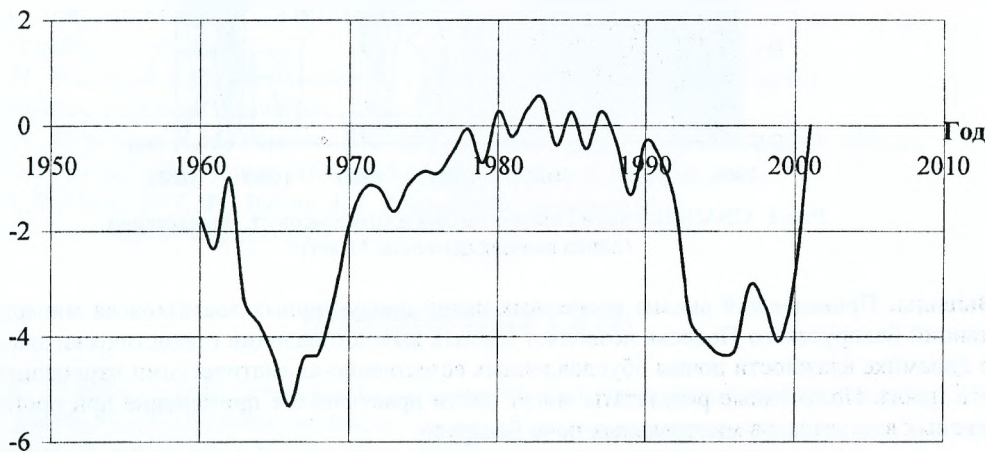


Рис. 4. Нормированные разностные интегральные кривые продуктивных влагозапасов по некоторым метеостанциям Беларуси

Автокорреляционная и частная автокорреляционная функции средних величин за вегетационный период продуктивных влагозапасов имеют свою специфику (рис. 5). Обращает на себя внимание наличие значимых величин корреляционных функций при $\tau = 6$ и 9 лет.

На рисунке 6 представлены СВАН-диаграммы, подтверждающие полученные результаты по другим методам.

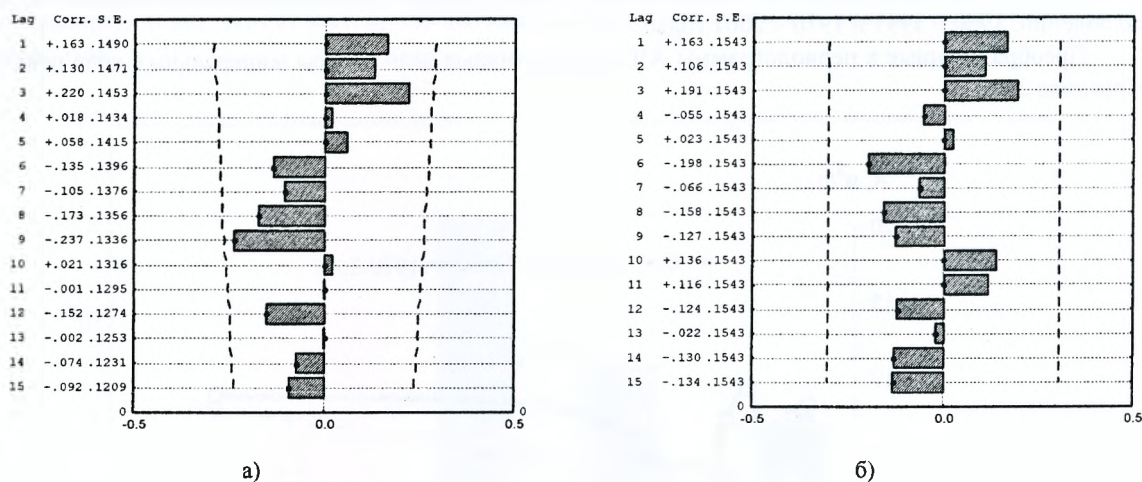


Рис. 5. Автокорреляционная функция (а) и частная автокорреляционная функция (б) продуктивных влагозапасов минеральных почв ст. Василевичи

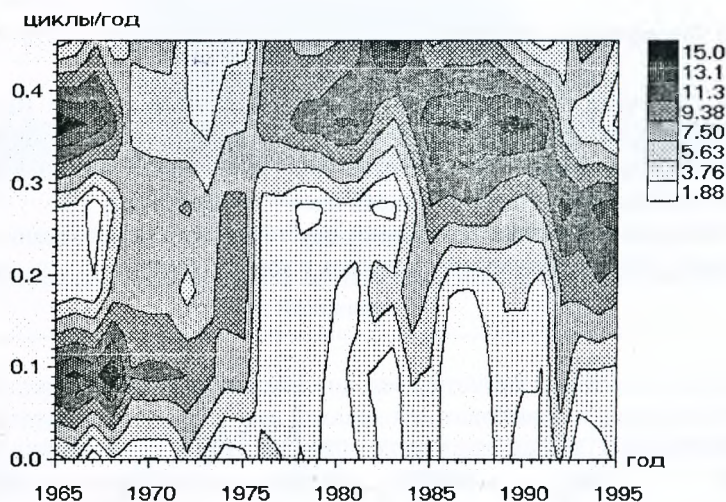


Рис. 6. СВАН-диаграмма продуктивных влагозапасов ст. Василевичи (длина скользящего окна 11 лет)

Выводы. Проведенный анализ временных рядов продуктивных влагозапасов минеральных почв метеостанций Белорусского Полесья позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике влажности почвы обусловленных естественно-климатическими изменениями гидрологического цикла. Полученные результаты могут найти практическое применение при прогнозировании продуктивных влагозапасов минеральных почв Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исмайылов, Г.Х. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги / Г.Х. Исмайылов, В.М. Федоров // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 5. – С. 517 – 525.
2. Пановский, Г.А. Статистические методы в гидрометеорологии / Г.А. Пановский, Г.В. Брайер. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 210 с.
3. Педан, В.В. Анализ структуры временных рядов весенних максимальных уровней природных вод / В.В. Педан // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30, № 6. – С. 688 – 695.

Поступила 24.12.2006