

ГАРМОНИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СЕЗОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ В БЕЛАРУСИ

В.И. Вихров, кандидат технических наук

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия

г. Горки, Беларусь

Аннотация

Отмечена актуальность исследований почвенной засухи в Беларуси, показана целесообразность выделения и учета детерминированных свойств изменчивости показателей засухи в виде главных гармонических составляющих.

С использованием двух последовательных 36-летних модельных рядов показателей почвенной засухи, полученных ретроспективным водобалансовым методом, выполнено их представление в виде $n/2$ гармонических составляющих по шести областным метеостанциям Беларуси.

Установлено существенное сокращение общей дисперсии исходных рядов после расчета и удаления их гармонических трендов.

Ключевые слова: почвенная засуха, водный баланс, гармонический анализ, климатическая трансформация

Abstract

V.I. Vikhrov

HARMONIC COMPONENTS OF MULTI-YEAR OSCILLATING SEASON INDICATORS OF SOIL DROUGHT IN BELARUS

Soil drought is an actual problem in Belarus. Deterministic properties of variability of drought indicators presented as main harmonic components are shown as expedient ones.

36-year modeling series of indicators of soil drought obtained by retrospective method are presented in this article as $n/2$ of harmonic components for 6 regional weather stations of Belarus.

A significant reduction in the total dispersion of the original series was detected as harmonic trends are calculated and deleted.

Keywords: soil drought, water balance, harmonic analysis, climate transformation

Введение

Почвенная засуха является объективным показателем недостаточной влагообеспеченности сельскохозяйственных культур и относится к частным видам опасных (неблагоприятных) для сельского хозяйства явлений погоды [1, 2, 3]. Генетически она является аномальным (с агрономической точки зрения) проявлением водного режима почвы, когда ее влагозапасы срабатываются ниже установленного критического значения $W_{кр}$. В свою очередь водный режим почвы (ВРП) формируется под влиянием весьма большого числа природных факторов и их сочетания. Как известно, определяющим факторам и показателям ВРП сельскохозяйственного использования в условиях Республики Беларусь присуща весьма значительная и разнообразная в своих проявлениях многолетняя изменчивость [2, 4]. При этом в условиях современного изменения регионального климата Беларуси отмечается тенденция дальнейшего увеличения неблагоприятных водных явлений, в частности такого, как почвенная засуха.

При планировании мелиоративных мероприятий по регулированию ВРП и расчете проектных параметров гидромелиоративных режимов используют-

ся их обеспеченные (вероятностные) количественные оценки. Статистическая достоверность и проектная надежность этих оценок зависит от характера и размаха общей многолетней изменчивости исследуемого показателя. Характер данной изменчивости имеет, как правило, смешанную стохастически-детерминированную физическую природу [5, 6]:

$$X(t) = f(t) + \zeta(t), \quad (1)$$

где $f(t)$, $\zeta(t)$ – соответственно детерминированная и стохастическая составляющие естественного макропроцесса $X(t)$.

Соотношение указанных составляющих (случайной и генетической) в общей дисперсии многолетнего ряда может быть различным и оцениваться путем выявления статистически значимых монотонных и циклических трендов. В результате их учета возможно значительное уменьшение общей дисперсии исследуемого показателя, что повышает надежность и точность его вероятностной, проектной и прогнозной оценок.

Большинство исследований многолетней изменчивости факторов и показателей почвенной засу-

хи основано на изучении колебаний метеорологических факторов (осадки, температура воздуха и т.п.), лишь косвенно определяющих водный режим почв [2, 7]. Немногочисленные исследования многолетней изменчивости почвенной засухи, основанные на результатах прямых наблюдений за влажностью почвы [1, 4], выполнены за относительно короткий период (от 10 до 30 лет). Это объясняется практической сложностью проведения массовых многолетних измерений влажности почвы в однородных условиях (культура, сорт, агрофон).

В связи с этим для более объективного статистического подхода к исследованию временной структуры показателей почвенной засухи нами использованы в качестве исходных данных их многолетние ряды с 1945 по 2014 гг., рассчитанные ретроспективным водобалансовым методом на основе ранее разработанных программ RETRO-1,2,3 [3]. Такой подход позволяет, во-первых, учесть индивидуальные биологические особенности отдельных сельскохозяйственных культур, конкретные почвенные и гидрогеологические условия и, во-вторых, обеспечить необходимую продолжительность и однородность исследуемых статистических рядов.

Методика исследований

В качестве исходных многолетних рядов для данных исследований приняты 70-летние ряды (1945–2014 гг.) трех сезонных показателей почвенной засухи, рассчитанные на основе упомянутых выше компьютерных программ RETRO по шести областным метеостанциям Беларуси для условий легкосуглинистых почв, используемых под сенокосные многолетние травы в условиях глубокого (> 5 м) залегания уровня грунтовых вод:

- сезонная продолжительность почвенной засухи ($T_{зас}$, сут) – RETRO-1 (естественный водный режим);
- степень почвенной засухи (dW_{max} , мм) – RETRO-1 (естественный водный режим);
- оросительная норма (M , мм) – RETRO-2 (условия орошения).

Методика обоснования и расчета указанных показателей почвенной засухи приведена в [3]. При расчетах продолжительности и степени почвенной засухи критический уровень влагозапасов почвы составлял 63 % наименьшей влагоемкости, а для расчета оросительной нормы использована методика с

переменной нижней границей регулирования влагозапасов почвы [3]. Водопотребление трав рассчитано согласно ТКП [8].

Наиболее теоретически обоснованным методом исследования свойств временных рядов в частотной области считается спектральный анализ, который применялся нами ранее для выявления наиболее значимых циклов многолетних колебаний сезонных показателей ВРП [6]. Вместе с тем, используемый в данной работе гармонический анализ (являясь основой спектрального) обладает большей возможностью для визуальной физической интерпретации путем отдельного сравнения каждой гармоники с фактическими колебаниями показателя ВРП.

Гармонический анализ позволяет выделить из общей изменчивости многолетнего ряда его наиболее существенные периодические колебания (главные гармоники). При их статистической значимости они, как правило, объясняются результатом воздействия каких-либо детерминированных факторов и поэтому относительно устойчивы на некотором временном интервале.

Гармонический анализ основан на конечном разложении Фурье дискретных временных рядов, каковыми являются многолетние ряды показателей ВРП. При длине временного ряда n (четное число) он представляется суммой $n/2$ отдельных гармонических колебаний (гармоник) по следующей зависимости:

$$X(t) = X_{cp} + \sum_{j=1}^{n/2} \left[A_j \sin\left(\frac{2\pi}{n} jt\right) + B_j \cos\left(\frac{2\pi}{n} jt\right) \right], \quad (2)$$

где t – текущий номер переменной ряда ($t = 1 \dots n$); j – номер гармоники ($j = 1 \dots n/2$); A_j ; B_j – синус- и косинус-коэффициенты.

$$A_j = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n X_t \sin\left(\frac{2\pi}{n} jt\right); \quad (3)$$

$$B_j = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n X_t \cos\left(\frac{2\pi}{n} jt\right). \quad (4)$$

Для последней гармоники $j = n/2$ принимаются $A_j = 0$; $B_{n/2} = B_j/2$.

Амплитуда j -й гармоники (размах колебания с частотой j) вычисляется по формуле

$$C_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2}. \quad (5)$$

Исходя из принципа разложений ряда согласно (2), каждая отдельная гармоника вносит свой вклад в общую изменчивость (дисперсию) временного ряда S^2 . Доля дисперсии (d_j) многолетнего ряда показателя, учитываемая j -й гармоникой рассчитывается согласно выражению

$$D_j = \frac{A_j^2 + B_j^2}{2S^2} = \frac{C_j^2}{2S^2}. \quad (6)$$

График зависимости $D_j = f(j)$ позволяет выбрать из всех гармонических составляющих временного ряда одну или сочетание нескольких главных гармоник, объясняющих существенную часть изменчивости исследуемого показателя. Следует отметить, что с увеличением числа учитываемых в (2) гармоник происходит все большее приближение их суммарной гармонической составляющей к фактическому исходному ряду, однако параллельно при этом теряются устойчивость и прогностические свойства такой аппроксимации, которая приобретает случайную природу.

В данной работе в качестве главных приняты две гармоники, стоящие первыми по величине учитываемой дисперсии ряда. Используя в формуле (2) только эти гармоники, вычисляется гармонический тренд временного ряда, который может объясняться какими-либо детерминированными внешними факторами и их сочетанием. Поскольку в данном случае использованы не все гармоники, происходит частичная аппроксимация исходных точек временного ряда. Несмотря на это, она имеет прогностическую ценность, поскольку главные гармоники относительно устойчивы в пределах исследуемого временного ряда и могут экстраполироваться на несколько его значений в будущее.

Удаление выявленного гармонического тренда позволяет рассчитать остаточный ряд (ΔX_i) отклоне-

ний показателя ВРП (X_i) от гармонической составляющей $X(t)$ по зависимости:

$$\Delta X_i = X_i - X(t). \quad (7)$$

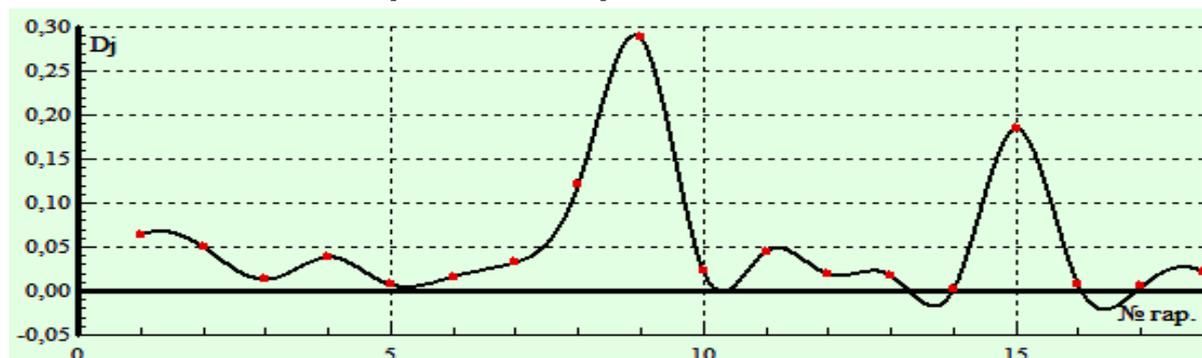
Полученный ряд ΔX_i является центрированным (с нулевым средним), характеризуется меньшей дисперсией и может считаться случайной составляющей исходного ряда X_i .

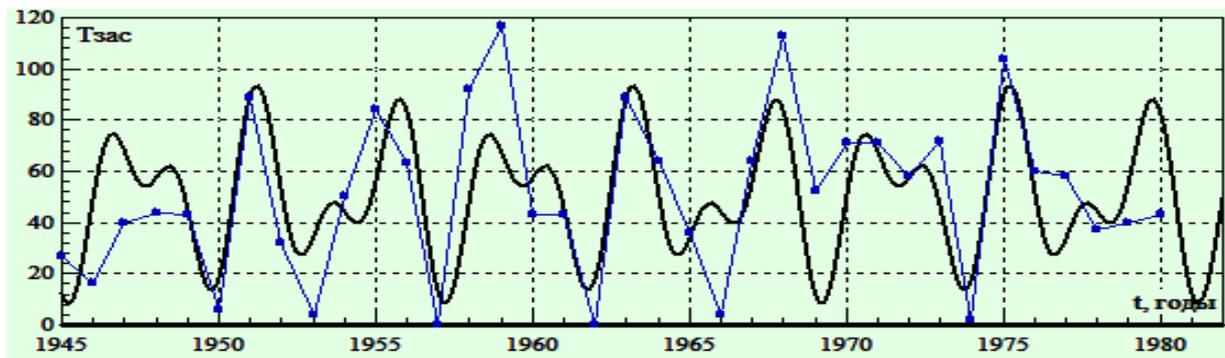
Результаты и обсуждение

На основании приведенной выше методики с использованием разработанных ранее программ «Post Stat», «Гармонический анализ» [9] выполнены компьютерные расчеты представления исходных рядов исследуемых показателей почвенной засухи согласно выражению (2) в виде $n/2$ гармонических составляющих по шести областным метеостанциям. Для учета происходящих климатических изменений расчеты выполнялись отдельно для двух последовательных 36-летних периодов (1945–1980 гг. и 1979–2014 гг.). При этом принята минимальная скользящая накладка этих периодов (общие 1979 и 1980 гг.). Это вызвано требованием четности числа членов исследуемых рядов при гармоническом анализе [9], учитывает непрерывность и плавность климатической трансформации и практически не влияет на индивидуальные особенности их временной структуры.

На рисунке 1 показан пример полученных графиков распределения дисперсии (D_j) многолетних рядов продолжительности почвенной засухи ($T_{зас}$) по частотам гармонических колебаний, а также их аппроксимации двумя главными (по доле учитываемой дисперсии ряда) гармониками для метеостанции Витебск. В данном случае главными гармониками для 1-го периода следует считать 9-ю и 15-ю, для второго – 14-ю и 3-ю.

1-й расчетный период – 1945–1980 гг.





2-й расчетный период – 1979–2014 гг.

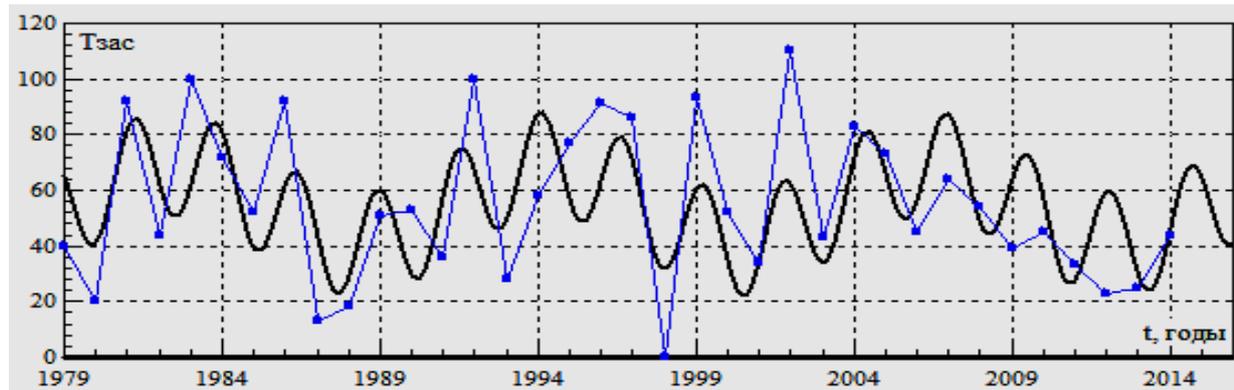
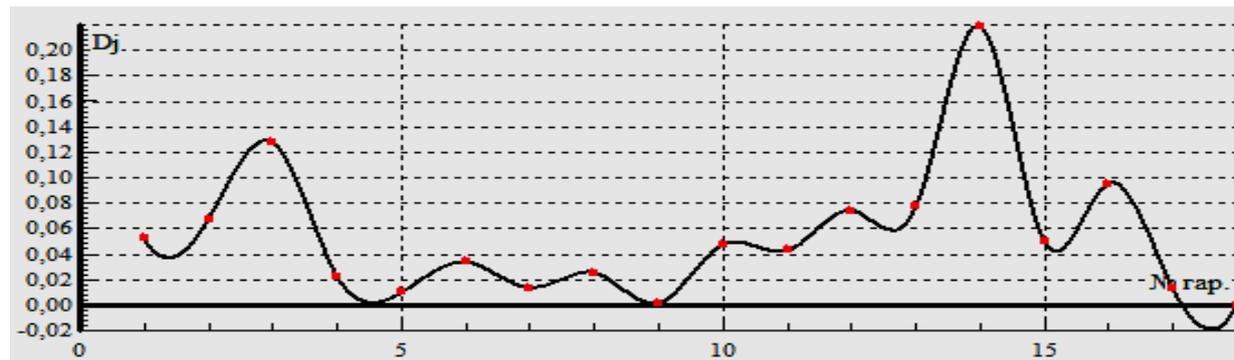


Рисунок 1. – Пример графиков распределения дисперсии (D_j) многолетних рядов продолжительности почвенной засухи ($T_{зас}$) по частотам гармонических колебаний и их аппроксимации главными гармониками по метеостанции Витебск

Результаты аналогичных расчетов по остальным метеостанциям и показателям приведены в таблице 1. В ней также приведено уменьшение общей дисперсии многолетних колебаний показателей почвенной засухи (K_S) за счет учета и удаления главных гармонических составляющих.

$$K_S = \frac{S_{ост}^2}{S_{исх}^2} 100\%, \quad (8)$$

где K_S – показатель уменьшения общей дисперсии ряда, %; $S_{ост}^2$; $S_{исх}^2$ – соответственно дисперсии остаточного и исходного рядов.

Данные таблицы 1 показывают, что в период с 1945 по 1980 г. доминирующей гармоникой (кроме зоны метеостанции Брест) является 9-я, которая обуславливает 4-летний цикл колебаний. Для периода с 1979 по 2014 гг. произошла трансформация многолетних колебаний в основном на более высокочастотные с главными гармониками от 10-й до 17-й (2–3-летние циклы) с сочетанием в ряде случаев низкочастотных гармоник. В зоне метеостанции Брест сформировалась доминирующая 3-я гармоника (12-летний значимый цикл колебаний).

Для контроля статистической значимости гармонических трендов нами использован упомянутый

Таблица 1. – Уменьшение общей дисперсии многолетних колебаний сезонных показателей почвенной засухи путем учета их главных гармонических составляющих

Метеостанция	1945–1980 гг.		1979–2014 гг.	
	Номера первых двух главных гармоник и учитываемая ими доля общей дисперсии ряда	Уменьшение дисперсии исходного ряда K_S , %	Номера первых двух главных гармоник и учитываемая ими доля общей дисперсии ряда	Уменьшение дисперсии исходного ряда K_S , %
Продолжительность почвенной засухи ($T_{зас}$)				
Брест	10 (0,137); 17 (0,132)	73,1	3 (0,231); 7 (0,128)	64,1
Витебск	9 (0,288); 15 (0,184)	52,8	14 (0,219); 3 (0,128)	65,3
Гомель	16 (0,203); 9 (0,197)	60,0	17 (0,212); 3 (0,132)	65,6
Гродно	9 (0,214); 2 (0,128)	65,8	11 (0,209); 17 (0,151)	64,0
Минск	9 (0,202); 6 (0,160)	63,8	16 (0,157); 5 (0,138)	70,5
Могилев	9 (0,317)	68,3	4 (0,257); 8 (0,149)	59,4
Степень почвенной засухи (dW_{max})				
Брест	6 (0,133); 15 (0,083)	78,4	3 (0,270); 15 (0,164)	56,6
Витебск	9 (0,220); 15 (0,164)	61,6	10 (0,165); 15 (0,136)	69,9
Гомель	9 (0,165); 3 (0,140)	69,5	17 (0,266); 11 (0,125)	60,9
Гродно	9 (0,182); 15 (0,155)	66,3	13 (0,168); 3 (0,124)	70,8
Минск	15 (0,145); 9 (0,130)	72,5	3 (0,171); 16 (0,132)	69,7
Могилев	9 (0,167); 7 (0,156)	67,7	11 (0,189); 4 (0,171)	64,0
Оросительная норма (M)				
Брест	6 (0,179); 9 (0,176)	64,5	3 (0,178); 13 (0,102)	72,0
Витебск	9 (0,295); 15 (0,134)	57,1	10 (0,235); 14 (0,161)	60,4
Гомель	9 (0,360)	64,0	11 (0,195); 14 (0,171)	63,4
Гродно	9 (0,201); 16 (0,105)	69,4	11 (0,200); 14 (0,123)	67,7
Минск	9 (0,323)	67,7	11 (0,144); 13 (0,138)	71,8
Могилев	9 (0,254); 7 (0,183)	56,3	11 (0,187); 4 (0,173)	64,0

выше спектральный анализ. С этой целью посредством гармонического анализа автокоррелограммы рассчитывались спектральные функции рядов с оценкой их выхода за доверительные интервалы случайного процесса при 5 и 1%-ном уровнях значимости [6]. Практически по всем вариантам таблицы 1 доминирующие главные гармоники значимы на 5%-ном уровне. В трех случаях большого доминирования в первом расчетном периоде выделяется лишь одна главная 9-я гармоника (4-летний цикл на 1%-ном уровне значимости).

Заключение

Выделение гармонических составляющих в многолетних рядах сезонных показателей почвенной

засухи в Беларуси отражает наличие значимой цикличности их колебаний и позволяет уменьшить дисперсию в среднем до 60–70 % от исходной. При этом главные гармоники имеют закономерное территориальное распределение, а также относительно устойчивую климатическую трансформацию.

Остаточные ряды после удаления гармонических трендов, как правило, центрированы, имеют значительно меньшую дисперсию и приближаются к нормальному распределению.

Таким образом, с целью уточнения проектных и прогнозных оценок сезонных показателей почвенной засухи представляется целесообразной такая расчетная модель, в которой значимая гармониче-

ская составляющая принимается в качестве динамической средней ряда, а для случайного остатка ряда строится его кривая обеспеченности. При этом с учетом климатической трансформации параметры рас-

четного гармонического тренда на основе зависимости (2) должны периодически (примерно каждые 10 лет) уточняться для каждой опорной метеостанции Беларуси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольберг, М. А. Опасные явления погоды и урожай / М.А. Гольберг, Г.В. Волобуева, А.А. Фалей. – Минск : Ураджай, 1988. – 120 с.
2. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: Справочник / Под ред. М.А. Гольберга. – Минск : БелНИИ Центр Экология, 2002. – 132 с.
3. Вихров, В.И. Программы расчета вероятности неблагоприятных водных явлений и проектирования гидромелиоративных режимов почв в Беларуси / В.И. Вихров // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – №2. – С. 48-57.
4. Лихацевич, А. П. Оценка факторов, формирующих неустойчивую влагообеспеченность сельскохозяйственных культур в гумидной зоне / А.П. Лихацевич, Е.А. Стельмах. – Минск : ООО «Белпринт», 2002. – 212 с.
5. Логинов, В.Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, П.В. Шведовский. – Брест : Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.
6. Вихров, В.И. Циклическая структура многолетних колебаний водного режима почв и ее климатическая трансформация на территории Беларуси / В.И. Вихров // Вестник БГСХА. – 2007. – № 1. – С. 103-108.
7. Шпока, И.Н. Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси : автореферат дис. ... канд. геогр. Наук / И.Н. Шпока. – Минск : Институт природопользования НАН Беларуси, 2012. – 24 с.
8. ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). Оросительные системы. Правила проектирования. – Минск, 2010. – 110 с.
9. Разработать методы оценки пространственно-временной изменчивости неблагоприятных водных явлений для их прогноза на минеральных почвах сельскохозяйственного использования в условиях Беларуси: отчет о НИР (заключ.) / рук. темы В.И. Вихров. – Горки : БГСХА, 2005. – № ГР 20042020. – 133 с.

Поступила 5.03.2018