

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

В. И. Вихров, кандидат технических наук

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»

г. Горки, Беларусь

Аннотация

Показана целесообразность исследования и учета территориальной связи показателей почвенной засухи на основе расчета пространственных корреляционных функций (ПКФ). С использованием двух последовательных 35-летних модельных рядов этих показателей, полученных ретроспективным водобалансовым методом по 30 опорным метеостанциям Беларуси, выполнен расчет их пространственной корреляции. Установлена климатическая трансформация ПКФ, приведен их анализ и методика практического использования.

Ключевые слова: почвенная засуха, пространственная корреляция, водный баланс, ретроспективный метод, климатическая трансформация

Abstract

V.I. Vikhrov

SPATIAL CORRELATION OF INDICATORS OF SOIL DROUGHT IN BELARUS

The study expediency and control of territorial connection of indicators of soil drought based on spatial correlation functions (SCF) are presented. Calculation of spatial correlation is made using two consecutive 35-year-old model series of indicators obtained due to retrospective water balance of 30 reference weather station of Belarus. Climatic transformation of SCF and its practical use analysis is established.

Keywords: soil drought, spatial correlation, water balance, retrospective method, climatic transformation

Введение

Одним из негативных проявлений современного изменения регионального климата для сельского хозяйства Беларуси является тенденция увеличения неблагоприятных водных явлений, в частности, такого, как почвенная засуха. Это повышает актуальность исследования пространственно-временной структуры водного режима почв, важной практической составляющей которой является его территориальная изменчивость. Учет пространственной корреляции показателей водного режима почв (ВРП) в условиях Республики Беларусь позволит, прежде всего, оценить репрезентативность «точечных» данных ВРП, рассчитанных по отдельным опорным метеостанциям, и обосновать их расчетные значения для любого конкретного объекта территории [1].

Для условий Беларуси изучение пространственной корреляции ранее выполнялось для отдельных элементов водного баланса, таких как осадки, испарение, речной сток [2, 3, 4], а также для ряда показателей ВРП [1, 5]. Однако проведенный нами в настоящее время анализ территориальной структуры этих показателей выявил существенную климатическую трансформацию их пространственных корреляционных функций (ПКФ), характерную для последних трех-четырёх десятилетий.

В связи с этим в настоящей работе выполнены исследования современной трансформации ПКФ сезонных показателей ВРП, характеризующих в данном случае почвенную засуху (ПЗ) на автоморфных минеральных супесчаных почвах.

Методика исследований

В качестве исходных данных для исследований ПКФ приняты 70-летние ряды (1945–2014 гг.) трех сезонных показателей ПЗ, рассчитанные на основе разработанных нами ранее компьютерных программ RETRO [6] по 30 опорным метеостанциям Беларуси для условий супесчаных почв, используемых под пастбище, с глубоким залеганием уровня грунтовых вод:

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

Подробная методика обоснования и расчета сезонных показателей ПЗ приведена в [6, 7].

При расчетах продолжительности и степени почвенной засухи критический уровень влагозапасов почвы составлял 63 % наименьшей влагоемкости, а для оросительной нормы использована методика с

переменной нижней границей регулирования влагозапасов почвы [6]. Водопотребление пастбища рассчитано согласно ТКП [8].

С целью выявления климатической трансформации пространственной структуры данных показателей расчеты ПКФ выполнялись отдельно для двух последовательных 35-летних периодов: 1945–1979 гг. и 1980–2014 гг.

Для описания пространственной совокупности гидрометеорологических и сходных с ними временных рядов, таких как показатели ВРП, наиболее приемлемо использование пространственных корреляционных функций [1, 8]. На практике в зависимости от характера изучаемого объекта могут использоваться как одномерные, так и двумерные ПКФ. Первый случай характерен для изотропного поля. В нашем случае, поскольку изучаемые показатели ВРП характеризуют сезонную особенность климата территории, пространственная корреляция должна учитывать его анизотропность, т.е. оцениваться не только по расстоянию, но и по географическому направлению [1,9].

В связи с этим в разработанной программе [1] нами предусмотрен расчет двумерной функции, выражающей зависимость коэффициента корреляции r между хронологическими рядами показателей водного режима почвы всех тридцати опорных метеостанций на территории Беларуси от их взаимного расстояния L и географического направления φ :

$$r = f(L, \varphi) \quad (1)$$

Построение пространственной корреляционной функции (1) осуществлялось в следующем порядке:

1. Для исходных хронологических рядов показателя НВЯ или ГМР отдельных метеостанций рассчитывалась матрица значений r по всевозможным парам этих метеостанций. В нашем случае при количестве опорных метеостанций $n = 30$ число их пар n_n составило:

$$n_n = 0,5(n^2 - n) = 0,5(30^2 - 30) = 435 \text{ пар}$$

2. Из полученной таким образом общей совокупности значений r выделялись его выборки для пар метеостанций, попадающих в секторы 45° , оси которых имеют восемь разных географических направлений φ : С–Ю; ССВ–ЮЮЗ; СВ–ЮЗ; ВСВ–ЗЮЗ; В–З; ВЮВ–ЗСЗ; ЮВ–СЗ; ЮЮВ–ССЗ. Угол сектора и количество географических направлений обеспечивают

при переходе к соседнему направлению скользящее сглаживание эмпирических данных с шагом $22,5^\circ$.

3. Для полученных по каждому направлению выборок строились графики зависимости коэффициента корреляции r от расстояния между соответствующими метеостанциями (L , км). Расстояния L определялись с использованием географических координат метеостанций и крупномасштабных карт. Пределы изменения L составили 44–569 км. Аппроксимация зависимости $r = f(L)$ для каждого из восьми указанных направлений выполнялась функцией:

$$r = \exp(-aL^b), \quad (2)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты. Вид функции (2) обеспечивает исходное условие $r = 1$ при $L = 0$.

4. Для построения графика двумерной функции (1) на основе полученных уравнений по зависимости (2) через каждые $0,1 r$ вычислялось расстояние L с использованием формулы:

$$L = \exp\left(\frac{\ln(-\frac{\ln(r)}{a})}{b}\right), \quad (3)$$

*обозначения прежние.

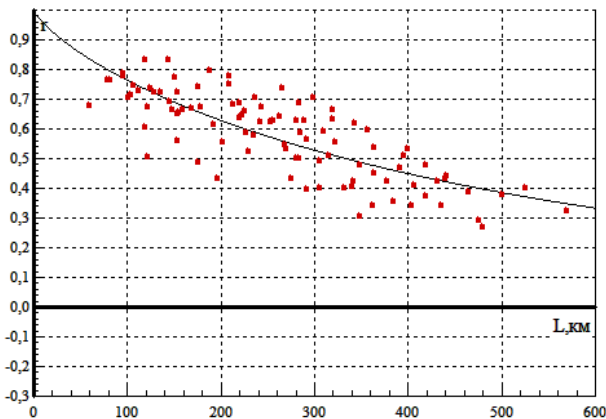
Величины L откладывались на осях соответствующих географических направлений, после чего одинаковые значения r разных секторов соединялись плавными кривыми по методу сплайнов, образуя изокорреляты [1, 2].

По результатам расчетов программой выдается таблица параметров пространственной корреляционной функции по отдельным географическим направлениям, коэффициенты аппроксимации зависимостей (2) a и b . Программой также выдаются графики корреляционных функций по отдельным направлениям (рисунок 1) и общие графики ПКФ (рисунок 3).

Результаты и обсуждение

Ввиду анизотропности ПКФ графики корреляционных функций (2) имеют различный характер по указанным выше географическим направлениям. Однако в нашем случае они имеют также различия по одному и тому же направлению для двух временных периодов. Это указывает на их статистическую неоднородность, вызванную климатической трансформацией [10, 11]. Примеры графиков зависимости (2), приведены на рисунке 1.

Период 1945-1979 гг.



Период 1980-2014 гг.

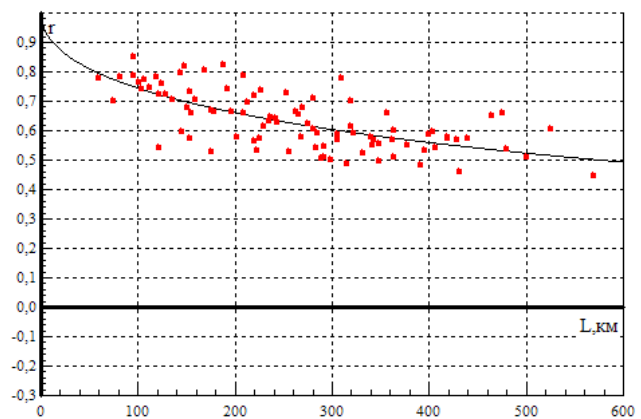
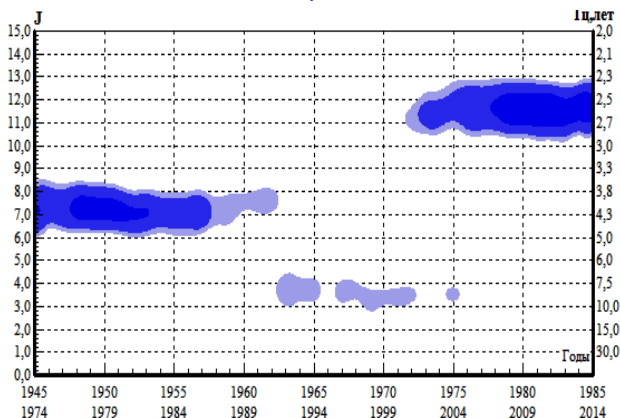


Рисунок 1 – Графики корреляционных функций оросительной нормы пастбища по направлению В-З для двух расчетных периодов

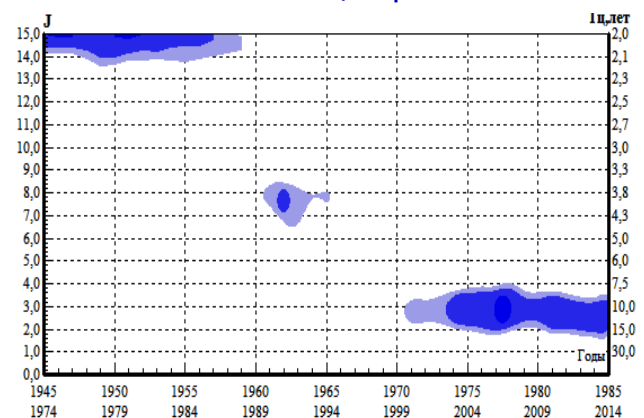
Одним из определяющих факторов такой неоднородности является установленная нами трансформация цикличности многолетних колебаний показателей ВРП на территории Беларуси, в частности почвенной засухи [11, 12].

Пример результатов исследования климатической трансформации циклов почвенной засухи методом временной развертки в виде СВАН-диаграмм [12] приведен на рисунке 2.

Метеостанция Витебск



Метеостанция Брест



■ - ВГ 10% ■ - ВГ 5% ■ - ВГ 1% — зоны спектральной функции выше верхней границы случайного процесса при 10, 5 и 1 %-ном уровне значимости

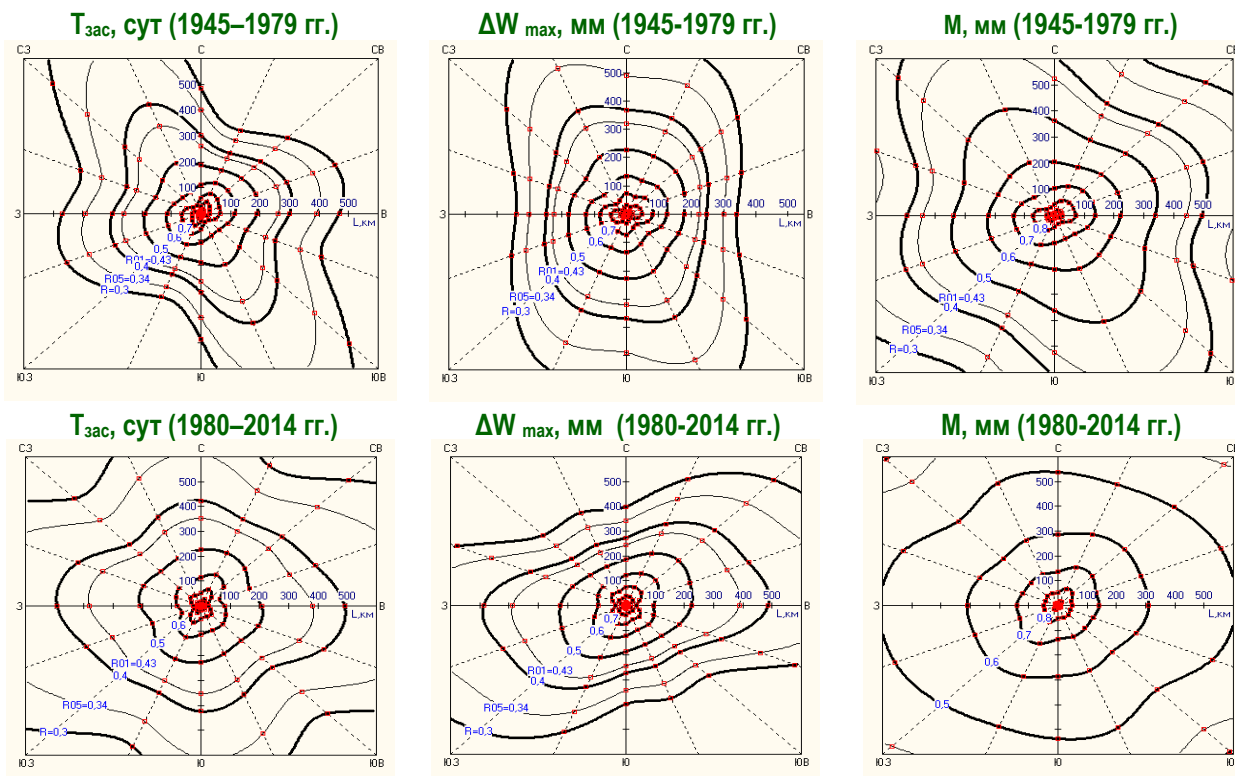
Примечание: J – частота колебаний; T_ц – длина цикла колебаний, лет.

Рисунок 2 – СВАН-диаграммы трансформации цикличности многолетних колебаний сезонной продолжительности почвенной засухи пастбища на супесчаных почвах для метеостанций Витебск и Брест с 1945 по 2014 годы

Общей закономерностью этой трансформации является смена доминирующего в первой половине 70-летнего периода статистически значимого 4-летнего цикла колебаний на более высокочастотную 2-3-летнюю цикличность. Для локализованной юго-западной зоны республики, где при наличии

примерно до 80-х годов прошлого века 2-летнего цикла, за последние десятилетия сформировалась 11-12-летняя значимая цикличность [12].

Результаты расчетов двумерных ПКФ вида (1) приведены на рисунке 3.



Примечание: $T_{зас, сут}$ – продолжительность почвенной засухи; $\Delta W_{max, мм}$ – степень почвенной засухи;

$M, мм$ – оросительная норма

Рисунок 3 - Пространственные корреляционные функции показателей почвенной засухи на супесчаных почвах Беларуси, используемых под пастбище

На графиках ПКФ кроме изокоррелят, соответствующих значениям $r = 0,9; 0,8; \dots 0,1$, отображаются также линии их минимальных существенных значений $r_{0,05}$ и $r_{0,01}$ для уровней значимости α , равных 5% и 1% соответственно. С учетом длины хронологических рядов $n = 35$, минимальные существенные значения корреляционной связи составили: $r_{0,05} = 0,34$; $r_{0,01} = 0,43$. Корреляционные отношения η зависимостей (2) находятся в пределах 0,61-0,87.

В соответствии с методикой построения графики ПКФ центрально симметричны вдоль отдельного географического направления. Вместе с тем они имеют разный характер по тесноте корреляционной связи в зависимости от географической ориентации, показателя ПЗ и расчетного периода.

Полученные пространственные корреляционные функции дают возможность уточнения для условий конкретного объекта расчетных значений показателей почвенной засухи, получаемых по данным ближайших к нему метеостанций. Расчетные значения показателей, полученные по данным метеостанций, назначаются по графикам соответствующих кривых обеспеченности, которые предусмотрены в программах RETRO [6, 7].

В этом случае искомое значение показателя для заданного пункта X_0 определяется как средневзвешенная величина по коэффициенту корреляционной связи его значений X_j ближайших j метеостанций:

$$X_0 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j \cdot r_j)}{\sum_{j=1}^n r_j}, \quad (4)$$

где r_j – коэффициенты пространственной корреляции показателя объекта и j -й метеостанции.

При использовании зависимости (4) и графиков ПКФ для определения величин X_0 объект совмещается с центром графика, а окружающие его метеостанции располагаются соответственно их географическим направлениям и расстояниям относительно объекта.

Заключение

В качестве общих закономерностей трансформации ПКФ, рассчитанных для двух 35-летних периодов, отмечается изменение характера анизотропности и изменение тесноты корреляционной связи в пределах расстояния L до 500 км.

Наибольший практический интерес представляют ПКФ в более ограниченной зоне, примерно со-

ответствующей расстоянию между произвольно расположенным объектом и окружающими его ближайшими метеостанциями. С учетом используемой в расчетах опорной сети метеостанций радиус такой зоны можно оценить расстоянием около 100 км. В целом в этой зоне направление повышенной пространственной связи (φ_{\max}), как правило, тяготеет к оси СВ–ЮЗ. Вместе с тем во втором расчетном периоде отмечается смена направления φ_{\max} примерно на 45° с направления ВСВ–ЗЮЗ (1945-1979 гг.) на ССВ–ЮЮЗ (1980-2014 гг.).

Для сезонных показателей продолжительности почвенной засухи и оросительной нормы в зоне больших расстояний ($L > 200$ км) отмечается общее уменьшение анизотропности ПКФ с параллельным увеличе-

нием корреляционной связи. Это можно объяснить наблюдающимся в последние десятилетия ростом частоты и синхронности проявления засушливых явлений в целом по всей территории Беларуси.

Выборочные компьютерные расчеты по формуле (4) показали, что применение указанной методики в условиях анизотропной ПКФ приводит к уточнению обеспеченных величин исследуемых показателей до 5-10% по сравнению с аналогичными показателями, полученными по данным одной ближайшей метеостанции. При этом расчет пространственных корреляционных функций должен выполняться с учетом установленной выше климатической трансформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вихров, В.И. Пространственная корреляция показателей неблагоприятных водных явлений и гидромелиоративного режима почв на территории Беларуси / В.И. Вихров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии – 2008. – № 2. – С. 97–101.
2. Сачок, Г.И. Пространственно-временная структура гидрометеорологического режима Белоруссии и прилегающих регионов / Г.И. Сачок. – Минск: Наука и техника, 1980. – 222 с.
3. Волчек, А.А. Исследование пространственно-временных колебаний элементов водного баланса (на примере Белоруссии): автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.07 / А.А. Волчек; Институт водных проблем АН СССР. – М., 1988. – 24 с.
4. Вихров, В.И. Влияние дискретизации данных метеостанций на их пространственную репрезентативность для воднобалансовых расчетов / В.И. Вихров // Проблемы мелиорации и водного хозяйства на современном этапе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Горки, 1999. – Часть 1. – С. 185 – 189.
5. Голченко, М.Г. Пространственная корреляция оросительных норм многолетних трав на территории Белоруссии / М.Г. Голченко, В.И. Вихров // НТИ Мелиорация и водное хозяйство; Минводхоз БССР. – 1984. – № 9. – С. 18-20.
6. Вихров, В.И. Программы расчета вероятности неблагоприятных водных явлений и проектирования гидромелиоративных режимов почв в Беларуси / В.И. Вихров // Мелиорация переувлажненных земель. – 2007. – №2 (58). – С. 48–57.
7. Вихров, В. И. Комплекс программ по моделированию и обоснованию проектных параметров водного режима почв / В.И. Вихров // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2010. – Вып 4. – С. 68–77.
8. Оросительные системы. Правила проектирования: ТКП 45-3.04-8-2005 (02250). – Минск, 2010. – 110 с.
9. 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.
10. Вихров, В.И. Климатическая трансформация многолетней динамики показателей водного режима почв на территории Беларуси / В.И. Вихров // Мелиорация сельскохозяйственных земель в XXI веке: проблемы и перспективы: доклады междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20–22 марта 2007 г. – Минск, 2007. – С. 79–83.
11. Вихров, В. И. Климатические тренды водного и гидромелиоративного режимов почв на территории Беларуси / В.И. Вихров // Природообустройство. – 2009. – № 2. – С. 48–53.
12. Вихров, В. И. Применение временной развертки для анализа климатической трансформации циклов почвенной засухи в Беларуси / В.И. Вихров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии – 2016. – №1. – С. 82–86.