

УДК 551.577.38

В.М. Хохлов, д.геогр.н.

Одеський державний екологічний університет

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ ЗАСУХ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Визначені індекси засухи (нормований індекс опадів) для території України протягом 1950-2009 років. Показано, що в окремих областях півдня і центру України відбулося різке збільшення кількості місяців з засухами. За допомогою аналізу розладнання виявлено, що у 1960-80 та 1990-2000 роки відбулися різкі зміни середньої величини, причому над півднем України з другої половини 1990-х років має місце тренд до збільшення кількості та інтенсивності засух.

Ключові слова: засуха, зміна клімату, об'єктивний критерій.

Вступ. Зміни клімату на сьогодні визнані одною з головних небезпек для планети Земля у двадцять першому столітті. Відповідно доповіді Міжурядової групи експертів зі змін клімату [1] інструментальні спостереження за останні 150 років вказують на те, що приземна температура повітря збільшилася на усій земній кулі, але мають місце й істотні регіональні коливання. У середньому по земній кулі з 1970-х років по теперішній час температура збільшилася на 0,55 °С. Взагалі, таке потепління інтенсифікувало глобальний гідрологічний цикл, збільшивши глобально осереднені опади, випаровування та стік. Більше того, наслідками глобального потепління є не тільки зміни середніх величин, а й загальне збільшення екстремальних проявів. Серед екстремальних метеорологічних явищ засухи, імовірно, є такими, що найповільніше розвиваються, часто мають найбільшу тривалість у часі і, на даний момент, найгірше за усіх прогнозуються.

Як було показано раніше [2, 3], протягом останніх тридцяти років в Україні мали місце екстремальні прояви, пов'язані, насамперед, з режимом опадів. Наприклад, у деяких областях істотно збільшилася кількість аномально посушливих років, зим та літ, а зміна у температурному режимі відбилася тільки у підвищеній кількості аномально спекотних літ. Такі зміни призвели до того, що, наприклад, протягом 1998-2007 років майже кожного року в окремих областях України спостерігалися засухи [4]. Аналіз просторово-часового розподілу об'єктивних параметрів засух для України не здійснювався, хоча існує достатня кількість робіт, в яких досліджуються окремі характеристики засух, наприклад, вплив на їх виникнення великомасштабних атмосферних процесів, або окремі випадки, як правило екстремальні прояви [4, 5]. Саме тому, метою цієї статті є визначення особливостей просторово-часового розподілу посушливих явищ в Україні за останні 60 років. При цьому розглядатимуться тільки метеорологічні засухи, тобто недостатні кількості опадів на деяким регіоном за певний період часу.

Методика дослідження. З метою оцінки впливу засух та визначення її характеристик, таких як інтенсивність, тривалість, несприятливість впливу та просторова розповсюдженість, зазвичай використовуються індекси засух. Практично усі ці індекси використовують або тільки опади, або опади у комбінації з іншими гідрометеорологічними величинами, наприклад, температурою або вологовмістом ґрунту. Загальноживаними індексами є нормований індекс опадів, індекс несприятливості впливу засух Палмера, індекс забезпеченості поверхневими водами, індекс умов вегетації, ефективні опади, індекс нестачі вологовмісту ґрунту, нормований індекс стоку тощо, які зазвичай використовуються у наукових працях закордонних авторів (див., наприклад, [6]), або критерій посушливості Педя та гідротермічний коефіцієнт Селянінова, поширені на теренах колишнього Радянського Союзу [5]. Але

досвід роботи з ними показав, що найзручнішим у використанні є нормований індекс опадів (SPI), який є достатньо простим, добре відбиває короткострокові особливості опадів і вологовмісту ґрунту, визначає початок та несприятливість впливу засух. Більше того, нещодавно використання цього індексу було рекомендовано експертами Всесвітньої метеорологічної організації [7]. Розглянемо стисло процедуру розрахунку SPI , яка була запропонована МакКі та ін. [8] (дивись також [9]).

Нормований індекс опадів є перетворенням кількості опадів за якийсь період (зазвичай, від 1 до 24 місяців) у нормований гаусів розподіл. Для апроксимації спостереженої функції розподілу ймовірностей кількості опадів найчастіше використовується гамма-розподіл [9]. У цій роботі параметри гамма-розподілу оцінювалися окремо для кожного з місяців року. Маючи параметри гамма-розподілу, розраховані за допомогою вихідної інформації про опади, кількість опадів R перетворюється у ймовірності, а потім у нормований індекс опадів

$$SPI = F^{-1}G(R), \quad (1)$$

де G – інтегральна функція гамма-розподілу; F^{-1} – зворотний нормований гаусів розподіл.

Після нормування аномалія може інтерпретуватися за допомогою табл. 1. Наприклад, в окремому пункті в певний місяць помірні засухи ($SPI \leq -1$) мають ймовірність виникнення 15,9%, а екстремальні засухи ($SPI \leq -2$) – тільки 2,3%.

Отже, використовуючи дані реаналізу NCEP/NCAR про сумарні місячні опади за період з січня 1950 по грудень 2009 (загальна тривалість 60 років або 720 місяців), у вузлах регулярної сітки, обмеженої $20,625^\circ$ і $41,25^\circ$ сх.д. та $42,8564^\circ$ і $54,2846^\circ$ півн.ш., були розраховані нормовані індекси опадів. Потім, використовуючи значення SPI , у кожному вузлі сітки, для двох окремих тридцятирічних періодів (1950-1979 і 1980-2009 рр.) розраховувалася кількість місяців, коли спостерігалася певна градація з табл. 1, наприклад, кількість місяців, коли $SPI \leq -1$.

Вибір зазначених періодів визначався тим, що саме наприкінці 1970-х років відбулася зміна тренду з переважного зниження середньої глобальної температури на її підвищення, яке, як вважається, триває й досі. Можна припустити, що у ці роки відбулася й якась зміна у часових рядах індексів засухи, і щоб підтвердити чи скачувати таке припущення використаємо аналіз розладнання, який дозволяє визначити наявність змін. Такий аналіз можна зробити, наприклад, за допомогою графіків накопичених сум, процедура використання яких є такою.

Нехай існує часовий ряд нормованих індексів опадів: $SPI_1, SPI_2, \dots, SPI_{720}$. Тоді накопичена сума S розраховується за формулою

$$S_i = S_{i-1} + (SPI_i - \overline{SPI}), \quad (2)$$

де $S_0 = 0$; $i = 1, \dots, 720$; \overline{SPI} – середнє значення SPI . Далі буде будується і аналізується графік часових змін S , що й буде зроблено у наступному розділі за рекомендаціями [10].

Таблиця 1 – Класифікація засух за допомогою SPI

Значення SPI	Категорія	Ймовірність, %
$\geq 2,00$	екстремальна вологість	2,3
1,50 – 1,99	небезпечна вологість	4,4
1,00 – 1,49	помірна вологість	9,2
0 – 0,99	слабка вологість	34,1
0 – -0,99	слабка засуха	34,1
-1,00 – -1,49	помірна засуха	9,2
-1,50 – -1,99	небезпечна засуха	4,4
≤ -2	екстремальна засуха	2,3

Результати та їх аналіз. На рис. 1а і 1б наведено просторовий розподіл кількості засух на території України протягом двох періодів: 1950-1979 і 1980-2009 рр. Насамперед, можна побачити, що для деяких областей засухи спостерігаються набагато частіше, ніж для інших. Наприклад, у Львівській, Тернопільській, Івано-Франківській та Закарпатській областях протягом 1950-79 рр. спостерігалось тільки 30-35 місяців з засухами, а на півдні Запорізької та Донецької областей – 55-60 місяців, тобто майже удвічі більше. Цікавим для цього періоду є й те, що на півдні України повторюваність засух була не такою є і великою. Також, у 1980-2009 рр. у Миколаївській, Херсонській, Одеській та Вінницькій областях спостерігався максимум з більше ніж 80 засухами за тридцять років, а над східними областями мінімум з менше ніж 65.

Найяскравішою ж особливістю просторового розподілу засух є зміни, які відбулися між двома періодами над півднем та центром України. Порівняння рис. 1а і 1б показує, що у цих регіонах протягом першого тридцятирічного періоду мав місце мінімум кількості засушливих місяців, а протягом другого – максимум. Над південним сходом України максимум повторюваності, навпаки, змінився мінімумом. Аналогічним чином змінилася й середня тривалість засух над півднем України (порівняй рис. 1в і 1г).

Інакше кажучи, протягом розглянутого 60-річного періоду відбулася істотна

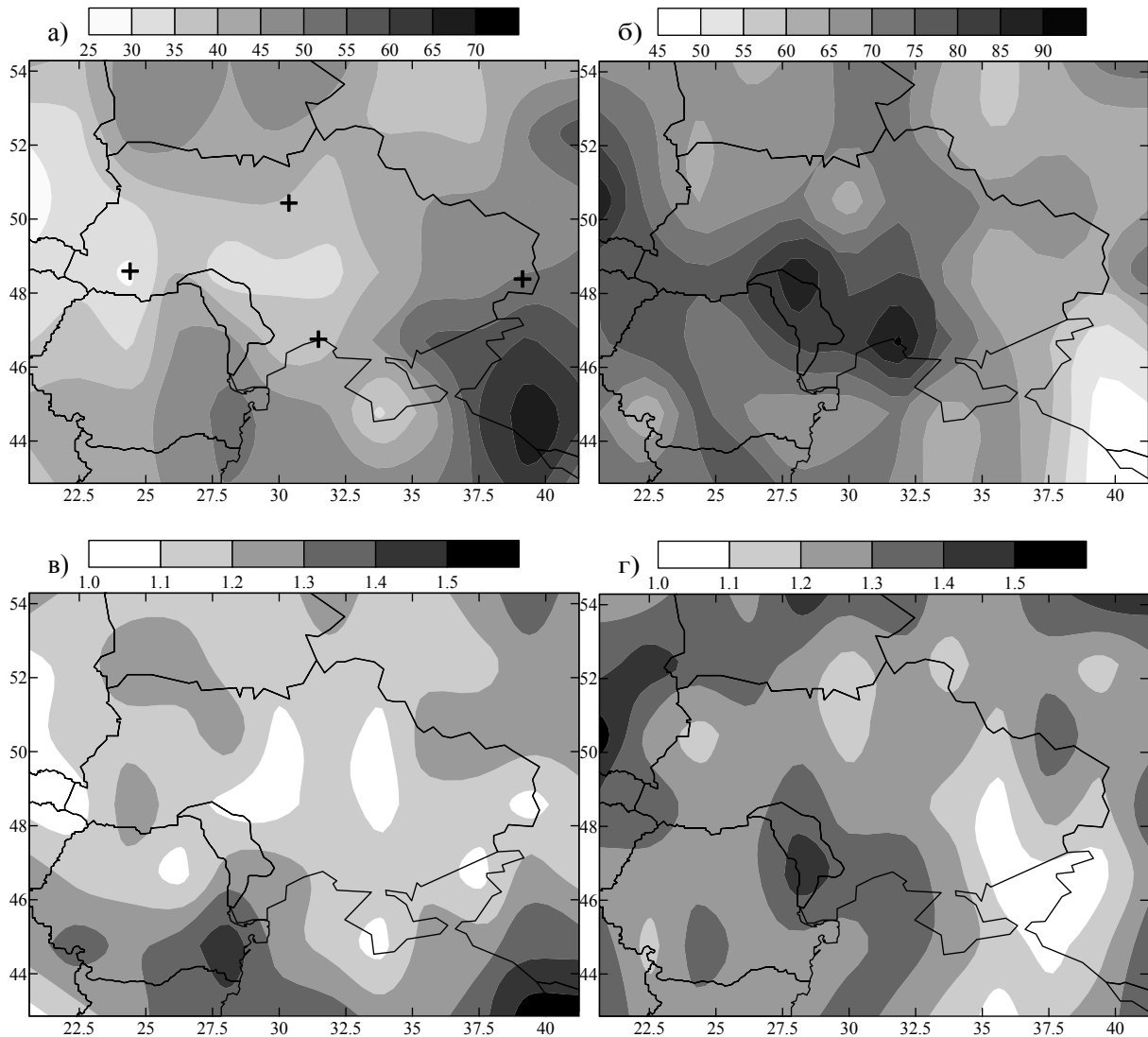


Рис. 1 – Кількість місяців з $SPI \leq -1$ та середня тривалість засух (місяців) для періоду 1950-1979 (а, в) та 1980-2009 (б, г) рр.

зміна у часовому ході SPI , яку можна дослідити за допомогою аналізу розкладання. Розглянемо графіки накопичених сум (рис. 2) для вузлів сітки, які на рис. 1а показані хрестиками. Як можна побачити з рівняння (1), на графіках рис. 2 наведені не накопичені суми значень індексу засухи, а накопичені суми різниці між значенням SPI та його середньою величиною. Інтерпретація рис. 2 може бути такою.

Припустимо, що протягом розглянутого періоду значення мають тенденцію бути більшими за середню величину. Тоді більшість значень S_i , доданих до накопиченої суми, буде додатною, а сума буде стало збільшуватися. Сегменти на кривій з нахилом догори вказують період, коли значення SPI мали тенденцію бути більшими за середню величину, сегменти з нахилом донизу – бути меншими за середню. Різка зміна нахилу кривої значень S_i вказує на різкий зсув або зміну середньої величини, а періоди, коли значення змінюються монотонно, характеризуються незмінністю середньої. Отже, для

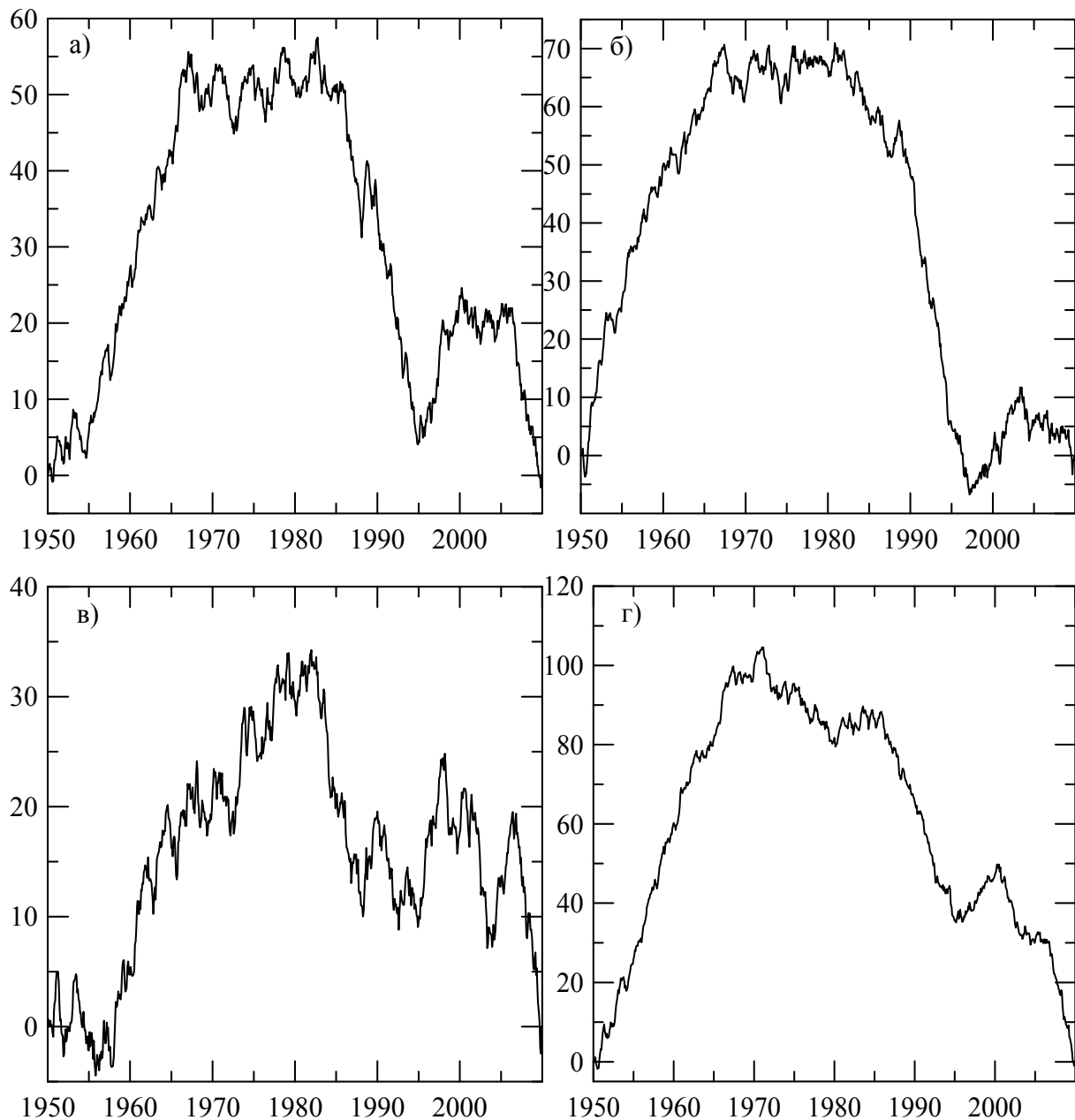


Рис. 2 – Накопичені суми для SPI на півдні (а), заході (б), сході (в) та півночі (г) України для періоду 1950-2009 рр.

чотирьох вузлів з різних регіонів України різки зміни (розладнання), як це можна бачити з рис. 2, мали місце у 1960-80 роки та у 1990-2000 роки. Взагалі ж, аналіз накопичених сум за методикою, яка обчислює й статистичну значущість результатів [10], показав, що значущі зміни на півдні України відбулися у 1983 та 1994 рр., на заході – 1967, 1989 та 1996 рр., на півночі – 1967, 1994 та 2000 рр., а на сході такі зміни виявлені не були. Останнє, до речі, можна пояснити відносно невеликими значеннями S_i , максимум яких був принаймні вдвічі менший за максимуми для інших регіонів, хоча на рис. 2в і простежуються зміни нахилу кривої S_i . Взагалі ж, відмінності між графіками на рис. 2 можна пояснити не тільки неоднозначністю методу, використаного тут для визначення різких змін у часовому режимі індексу засухи, а й різницями впливу великомасштабних атмосферних процесів Атлантико-Європейського сектору на різні регіони України (див., наприклад, [11]).

Простежити процеси зміни у величині нормованого індексу опадів для зазначених років можна, побудувавши лінійні тренди. На рис. 3 для SPI над півднем України такі тренди побудовані для періодів 1950-1983, 1983-1994 і 1994-2009 рр. Насамперед, для усіх трьох періодів мали місце тренди мали до збільшення засух, але якщо у 1950-80 роки середні зміни були близькі до нуля (лінія тренда майже паралельна і близька до осі X), то, починаючи з 1980-х років, простежуються схильність до збільшення кількості засух та їх інтенсивності, що особливо помітно, починаючи з другої половини 1990-х років.

Висновки. На сьогодні визнано, що засухи у майбутньому загрожуватимуть вразливим до клімату секторам економіки, особливо сільському господарству, і відповідно є потреба в оцінці потенційного впливу зміни клімату на рослинництво на різних часових та просторових масштабах. Це допоможе розробити міри зі зменшення вразливості сільськогосподарської галузі і зберегти засоби до існування тих, хто залежить від цієї галузі. Як негативний приклад впливу засух можна навести витрати внаслідок цього явища у Європі, які з 1991 року становили 5,3 млрд. євро щорічно, а у найнесприятливішому 2003 році - 8,7 млрд. євро.

У цій статті показується, що в останні приблизно тридцять років на півдні України відбулися зміни у часовому режимі нормованого індексу опадів, які

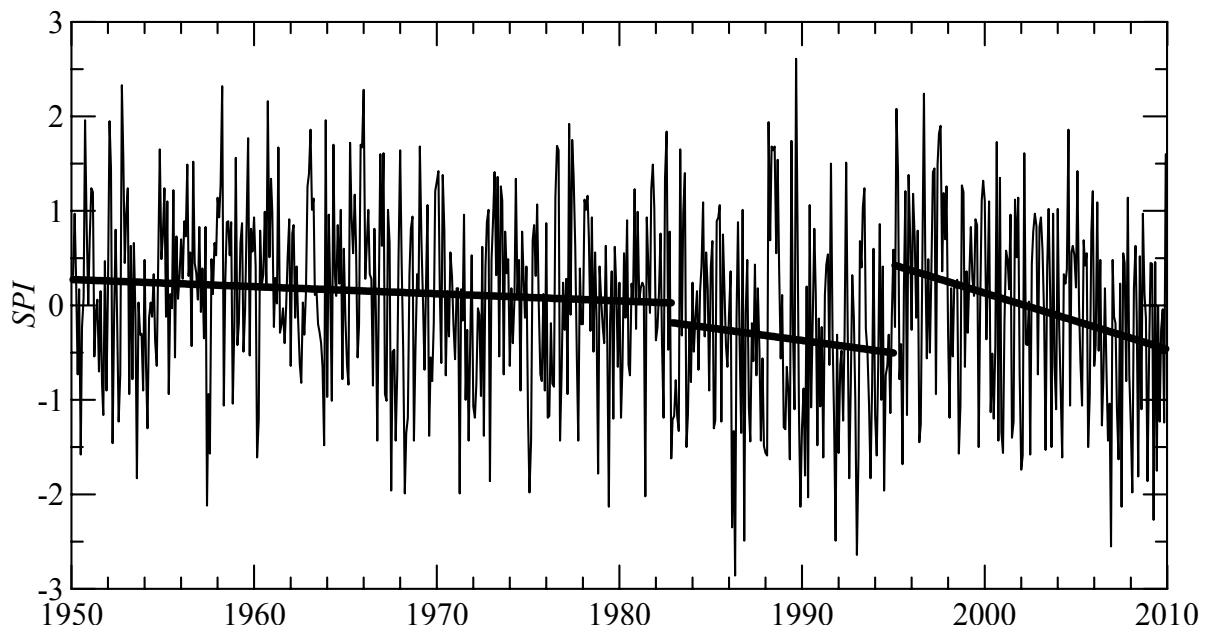


Рис. 3 – Нормований індекс опадів (SPI) на півдні України за 1950-2009 рр. та лінійні тренди для деяких періодів.

визначаються збільшенням кількості та інтенсивності засух. Все це може бути причиною подальшого докладнішого вивчення майбутніх характеристик просторово-часового розподілу засух для різних регіонів України, а це, в свою чергу, дозволить визначити ті з них, які найбільше будуть потерпати від засух протягом найближчих декількох десятиліть. Нарешті, ці дані можуть бути використані як засади для побудови стратегії соціально-економічного розвитку окремих регіонів України.

Список літератури

1. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* / S. Solomon et al. (eds.) Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
2. Хохлов В.Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века // Український гідрометеорологічний журнал. – 2007. – № 2. – С. 35-42.
3. Хохлов В.Н., Иванов А.В. Количественное описание изменений климата в конце XX – начале XXI века // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50, Ч. 1. – С. 221-226.
4. Щербань І.М. Небезпечні агрометеорологічні явища в Україні // Фізична географія та геоморфологія. – 2009. – Вип. 57. – С. 75-81.
5. Ефимов В.А., Ивус Г.П., Нажмудинова Е.Н. К вопросу о формировании весенних засух на территории Украины // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2008. – Вип. 50, Ч. 1. – С. 64-69
6. Mishra A.K., Singh V.P. A review of drought concepts // Journal of Hydrology. – 2010. – Vol. 391, No. 1-2. – P. 202-216.
7. Press Release No. 872. Experts agree on a universal drought index to cope with climate risks. – Geneva: WMO, 2009.
8. McKee T.B., Doesken N.J., Kliest J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. – Anaheim, USA, 1993. – P. 179-184.
9. Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. A drought climatology for Europe // International Journal of Climatology. – 2002. – Vol. 22, No. 13. – P. 1571-1592.
10. Woodall W.H., Adams B.M. The statistical design of CUSUM charts // Quality Engineering – 1993. – Vol. 5, No. 4. – P. 559-570.
11. Loboda N.S., Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Lovett L. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation // Journal of Hydrology. – 2006. – Vol. 322, No. 1-4. – P. 14-24.

Пространственно-временное распределение засух на территории Украины в условиях изменения климата. Хохлов В.Н.

Определены индексы засух (нормированный индекс осадков) для территории Украины в 1950-2009 годы. Показано, что в отдельных областях юга и центра Украины произошло резкое увеличение количества месяцев с засухами. При помощи анализа разладки выявлено, что в 1960-80 и 1990-2000 годах произошли резкие изменения средней величины, причем над югом Украины со второй половины 1990-х годов имеет место тренд к увеличению количества и интенсивности засух.

Ключевые слова: засуха, изменение климата, объективный критерий.

Spatiotemporal distribution of droughts in Ukraine under climatic change. Khokhlov V.N.

The drought indices (Standardized Precipitation Index) were calculated for Ukraine during 1950-2009. It was shown that abrupt changes of months with the droughts occurred in some regions of Southern and Central Ukraine. It is revealed by using the change-point analysis that the abrupt changes in the average values occurred during 1960-80 and 1990-2000. Moreover, from second half of 1990-th the trend to the increase in the number and intensity of droughts have occurred in Southern Ukraine.

Key words: drought, climatic change, objective test.