

ПОРІВНЯННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСУХ В УКРАЇНІ НА ПОЧАТКУ ТА НАПРИКІНЦІ ХХ СТОРІЧЧЯ

Аналізуються просторово-часові характеристики екстремальних посух, виявлених за допомогою стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування з масштабами часу 1, 3, 6, 9, 12, 24 місяці для території України протягом 1901–1930 та 1976–2005 рр. Встановлено, що найбільшу частоту, інтенсивність та тривалість екстремальні посухи мали на початку 20 сторіччя.

Ключові слова: просторово-часові характеристики, стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування, екстремальна посуха.

Вступ. Таке природне екстремальне явище як посуха все більше привертає увагу метеорологів, гідрологів, екологів та інших вчених. Посуха впливає на різні сектори народного господарства, в тому числі на рівень поверхневих та підземних вод, що може призвести до зменшення водозабезпечення, погіршення якості води, скорочення врожаю, виробництва електроенергії та ін. Посуха виникає практично у всіх кліматичних зонах і головним чином пов'язана з тривалими періодами відсутності опадів, але достатньо важко визначити час настання, ступінь тяжкості, тривалість та час закінчення посухи, оскільки причини її виникнення є дуже складними і залежать не тільки від атмосферних, а й від гідрологічних процесів.

Постановка проблеми. Зміни клімату є одним із факторів, що впливають на умови виникнення посух. Згідно з результатами дослідження Міжурядової групи експертів по змінам клімату [2], інструментальні спостереження показують, що за останні 157 років глобальна приземна температура повітря збільшилась з деякими регіональними відхиленнями. В середньому по всій земній кулі потепління в 20 сторіччі відбувалося в двох фазах – у 1910–1940-х роках (0,35 °С), і більш сильно, починаючи з 1970-их до теперішнього часу (0,55 °С). Але слід зазначити, що умови виникнення посух у великій мірі залежать не лише від змін температурного фону, але й від режиму зволоження. Зокрема в дослідженнях, що здійснювалися для території України [4], зазначено, що в останні 45 років спостерігається тенденція збільшення вологості ґрунту в верхньому однометровому шарі. Тому були зроблені чисельні спроби розробити нові індекси посухи або вдосконалити існуючі, які б при обчисленні періодів посух враховували не тільки дані температури, а й інші метеорологічні, гідрологічні та агрометеорологічні величини та параметри. З цією метою був сформований новий індекс посухи – стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (SPEI) [6]. У зв'язку з тим, що порівняння характеристик посух для різних періодів часу по території України не проводились, **метою** цієї роботи є дослідження просторово-часового розподілу посух для різних періодів та регіонів.

Матеріали та методи дослідження. Для проведення порівняльного аналізу просторово-часових характеристик посух в різні проміжки часу використовувався індекс посухи – стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування. Індекс SPEI був розрахований за даними про температуру повітря та опади з кроком сітки 0,5° для усієї земної кулі за період 1901–2006 рр. і враховує масштаби часу від 1 до 48 місяців.

Стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування сформовано на

основі стандартизованого індексу опадів (SPI) з залученням потенціального сумарного випаровування [4], що дозволило скомбінувати опади та температуру. Процедура визначення SPEI базується на першочерговому визначенні стандартизованого індексу опадів. Таким чином, SPI обчислюється за середньомісячними значеннями опадів, а SPEI використовує середньомісячні різниці між опадами та потенціальним сумарним випаровуванням. Останнє являє собою простий кліматичний баланс вологи для різних масштабів часу [3].

Перший етап – розрахунок потенціального сумарного випаровування PE – є складним, тому що потребує багатьох параметрів, таких як температура поверхні ґрунту, вологості повітря, радіації, що надходить до ґрунту, тиску водяної пари, потоків прихованого та відчутного тепла між ґрунтом та атмосферою тощо. Але в результаті досліджень виявлено, що з метою залучення PE до індексу посухи можна використовувати найпростіший метод і це не позначиться істотно на отриманих індексах. Тому в [6] запропоновано для визначення PE (у мм) застосувати метод Торнвейта [5], за яким PE залежить тільки від температури, а саме

$$PE = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^m, \quad (1)$$

де T – середньомісячна температура ($^{\circ}\text{C}$);

m – коефіцієнт; $m = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,492$;

I – індекс теплоти, який розраховується як сума 12 середньомісячних величин індексу i , а останній одержується з середньомісячних температур за формулою

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}, \quad (2)$$

K – поправковий коефіцієнт, що обчислюється як функція широти та місяця

$$K = \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right), \quad (3)$$

де NDM – кількість днів у місяці, а N – максимальна кількість сонячних годин, яка визначається за допомогою

$$N = \frac{24}{\pi} \varpi_s, \quad (4)$$

де ϖ_s – годинний кут сходу сонця, який обчислюється за виразом

$$\varpi_s = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta), \quad (5)$$

де φ – широта у радіанах;

δ – сонячне схилення у радіанах, отримане, як

$$\delta = 0,4093 \sin \left(\frac{2\pi J}{365} - 1,405 \right), \quad (6)$$

де J – середній юліанський день місяця.

Після того, як одержані дані про потенційне сумарне випаровування, для кожного i -го місяця розраховуються різниці (D_i) між опадами P_i та PE_i

$$D_i = P_i - PE_i, \quad (7)$$

забезпечуючи просту міру надлишку або дефіциту вологи для певного місяця.

Обчислені величини D_i для SPEI (або P_i для SPI) підсумовуються на різних часових масштабах за такою процедурою. Різниця $D_{i,j}^k$ для даного місяця j та року i залежить від вибраного часового масштабу. Наприклад, накопичена різниця для одного місяця у певний рік i з 12-місячним часовим масштабом одержується за допомогою виразу

$$X_{i,j}^k = \sum_{l=13-k+j}^{12} D_{i-1,l} + \sum_{l=1}^j D_{i,l}, \quad j < k; \quad (8)$$

$$X_{i,j}^k = \sum_{l=j-k+1}^j D_{i,l} \quad j \geq k,$$

де $D_{i,l}$ – різниця $P_i - PE_i$ у перший місяць року i у міліметрах.

Для розрахунку SPI на різних часових масштабах використовується розподіл ймовірностей з гамма сім'ї (двопараметричний гамма-розподіл або трипараметричний розподіл Пірсона III-го типу), тому що частоти опадів, накопичених на різних часових масштабах, добре модулюються за допомогою цих статистичних розподілів. SPI може бути розрахований з використанням двопараметричного розподілу, а для SPEI потрібний трипараметричний розподіл. Найбільш придатний розподіл для моделювання D_i на різних часових масштабах є лог-логістичний розподіл, визначений Вісенте-Серрано та ін. [6], які застосовували дані з одинадцяти станцій спостереження з різними кліматичними умовами.

Середнє значення SPEI дорівнює нулю, а середньоквадратичне відхилення – одиниці. Цей індекс є стандартизованою величиною і може бути порівняний з аналогічними величинами в інших пунктах та за інший проміжок часу. Категорії посух для різних величин SPEI визначені у табл. 1.

З усієї бази розрахованих індексів для даного дослідження вибрані SPEI лише за два періоди – 1901–1930 рр. та 1976–2005 рр., з масштабами часу 1, 3, 6, 9, 12, 24 місяці для шести міст України, що знаходяться в різних регіонах країни для того, щоб визначити як змінюється просторово-часовий розподіл посух в Україні в кінці 20 сторіччя в порівнянні з початком.

Таблиця 1 – Критерії посухи за стандартизованим індексом опадів та сумарного випаровування

Значення SPEI	Категорія посухи
$-0,99 \leq \text{SPEI} < 0$	Слабка
$-1,49 \leq \text{SPEI} < -1$	Помірна
$-1,99 \leq \text{SPEI} < -1,5$	Інтенсивна
$\text{SPEI} \leq -2$	Екстремальна

Основні результати. За результатами обчислення стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування підрахована кількість місяців з екстремальною посухою за тридцятирічний період – 1901–1930 рр., що був поділений на десятиріччя для більш детального аналізу просторово-часових характеристик посух на більш коротких проміжках часу (табл.2).

Як видно з табл. 2, максимальна кількість місяців з екстремальною посухою спостерігається в південних та центральних областях на відміну від східних та західних, де ця кількість значно менша. Практично в усіх регіонах найбільша кількість місяців з екстремальною посухою реєструвалась для масштабу часу 24 місяці. Слід також зазначити, що третє десятиріччя, тобто 1921–1930, було найбільш посушливим, оскільки саме на цей період припадає найбільша частка екстремально посушливих місяців.

Подібна процедура розрахунку проведена для ще одного тридцятирічного періоду – 1976–2005 рр., результати якої представлені в табл. 3.

Таблиця 2 – Кількість місяців з екстремальною посухою в період 1901–1930 рр.

Пункт	Період	Масштаби часу, міс					
		<i>1</i>	<i>3</i>	<i>6</i>	<i>9</i>	<i>12</i>	<i>24</i>
Дніпропетровськ	1901-1910	1	2	0	0	0	0
	1911-1920	1	1	0	0	0	0
	1921-1930	2	2	2	1	1	18
	Заг. кількість	4	5	2	1	1	18
Київ	1901-1910	0	1	3	1	2	1
	1911-1920	2	0	1	0	0	0
	1921-1930	3	3	8	11	12	11
	Заг. кількість	5	4	12	12	14	12
Кіровоград	1901-1910	1	2	2	0	1	11
	1911-1920	1	0	0	0	0	0
	1921-1930	3	2	6	7	11	11
	Заг. кількість	5	4	8	7	12	22
Львів	1901-1910	0	0	0	1	0	0
	1911-1920	4	3	1	2	1	0
	1921-1930	2	1	1	3	2	2
	Заг. кількість	6	4	2	6	3	2
Одеса	1901-1910	1	0	0	1	0	0
	1911-1920	0	0	0	0	0	0
	1921-1930	5	5	11	13	17	19
	Заг. кількість	6	5	11	14	17	19
Сімферополь	1901-1910	0	0	2	4	2	0
	1911-1920	1	0	0	0	0	0
	1921-1930	2	3	3	6	6	0
	Заг. кількість	3	3	5	10	8	0

Розподіл максимальної кількості місяців з екстремальною посухою в період 1976–2005 рр. по території України практично співпадає з попереднім досліджуваним періодом; також максимальна кількість відмічається в центральних та південних районах, а мінімальна – в східних та західних. Але головна відмінність даного періоду полягає у значно меншій загальній кількості місяців з екстремальною посухою. Різниця між цими періодами є досить великою і свідчить про переважання в декілька разів кількості посух саме в 1901–1930 роках. Протягом 1976–2005 років максимальна кількість місяців з екстремальною посухою припадає на друге десятиріччя, тобто 1986–1995 рр.

Таким чином, кількісні розрахунки показують, частота виникнення посух та їх тривалість була значно більшою на початку 20 сторіччя, ніж в кінці, а твердження про збільшення вологості ґрунту в останні роки, що може призвести до зменшення кількості посух, може мати практичне підтвердження.

Для більш детального аналізу окремо побудовані графіки розподілу індексу SPEI в періоди дослідження. На прикладі міст Київ та Одеса розглянемо розподіл індексу в масштабах часу 1 та 12 місяців.

Таблиця 3 – Кількість місяців з екстремальною посухою в період 1976–2005 рр.

Пункт	Період	Масштаби часу, міс					
		1	3	6	9	12	24
Дніпропетровськ	1976-1985	4	0	0	0	0	0
	1986-1995	3	0	0	0	0	0
	1996-2005	2	1	0	0	0	0
	Заг. кількість	9	1	0	0	0	0
Київ	1976-1985	2	0	0	0	0	0
	1986-1995	2	1	0	0	0	0
	1996-2005	3	0	0	1	0	0
	Заг. кількість	7	1	0	1	0	0
Кіровоград	1976-1985	3	3	0	0	0	0
	1986-1995	3	3	2	1	0	0
	1996-2005	3	0	0	0	0	0
	Заг. кількість	9	6	2	1	0	0
Львів	1976-1985	1	3	3	6	4	0
	1986-1995	1	1	0	0	0	0
	1996-2005	1	1	0	0	0	0
	Заг. кількість	3	5	3	6	4	0
Одеса	1976-1985	0	1	0	2	0	0
	1986-1995	2	4	2	0	0	0
	1996-2005	1	1	0	0	0	0
	Заг. кількість	3	6	2	2	0	0
Сімферополь	1976-1985	0	2	0	1	0	0
	1986-1995	1	4	3	3	3	4
	1996-2005	2	2	2	1	0	0
	Заг. кількість	3	8	5	5	3	4

На рис. 1 представлений SPEI по місту Київ з масштабом часу 1 місяць для двох тридцятирічних періодів, з якого видно, що в обох випадках періоди посух мають дещо поодинокий характер і тривалість однієї посухи не перевищує трьох місяців, але інтенсивність екстремальної посухи все ж таки значно більша протягом 1901–1930 рр., з максимумом в листопаді 1926, коли $SPEI = -2,88$.

У випадку розподілу індексу з масштабом часу 12 місяців спостерігаються зовсім інші результати. Так, в період 1976–2005 в місті Київ з даним масштабом часу, випадків з екстремальною посухою не спостерігалось взагалі, а з 1901 по 1930 рр., навпаки, вони були досить інтенсивні та довготривалі. Але, тривалість посухи за дане тридцятиріччя становила майже рік – з лютого по грудень 1921 р. (рис. 2) [1].

На рис. 3 та 4 наведено індекс SPEI по м. Одеса також для масштабів часу 1 та 12 місяців в рамках досліджуваних періодів. Розподіл індексу посухи в місті Одеса подібний розподілу в м. Київ, коли з масштабами часу 1 місяць і протягом 1901–1930 рр., і протягом 1976–2005 рр., мали місце досить інтенсивні, але нетривалі посухи. Проте в період 1901–1930 в Одесі спостерігались вже дві екстремальні посухи. Перша – вищезазначена 1921р., але вона тривала вже рівно рік – з січня по грудень 1921 р., з критичними значеннями SPEI біля – 2,5 в жовтні 1921 р., та друга – з лютого

по травень 1925 р. Хоча з 1976 по 2005 рр. для масштабу 12 місяців екстремальних посух не спостерігалось взагалі.

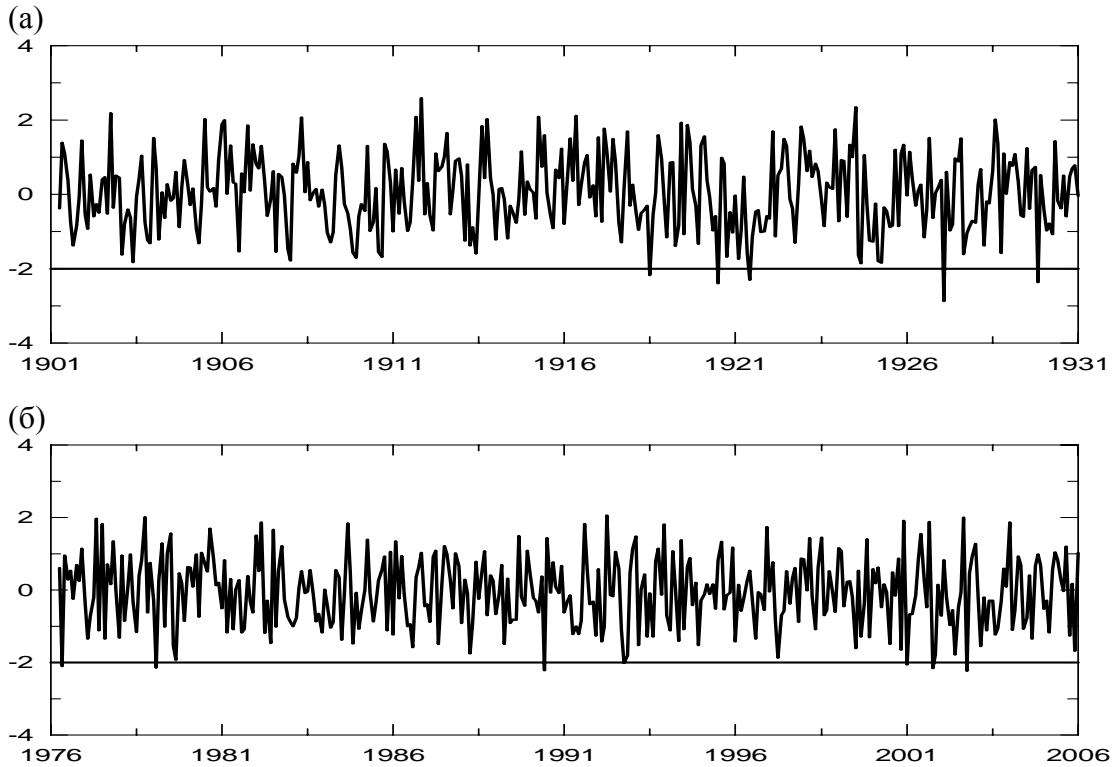


Рис. 1 – Розподіл індексу SPEI (по вертикалі) в м. Київ з масштабом часу 1 місяць: (а) – з 1901 по 1930 рр.; (б) – з 1976 по 2005 рр.

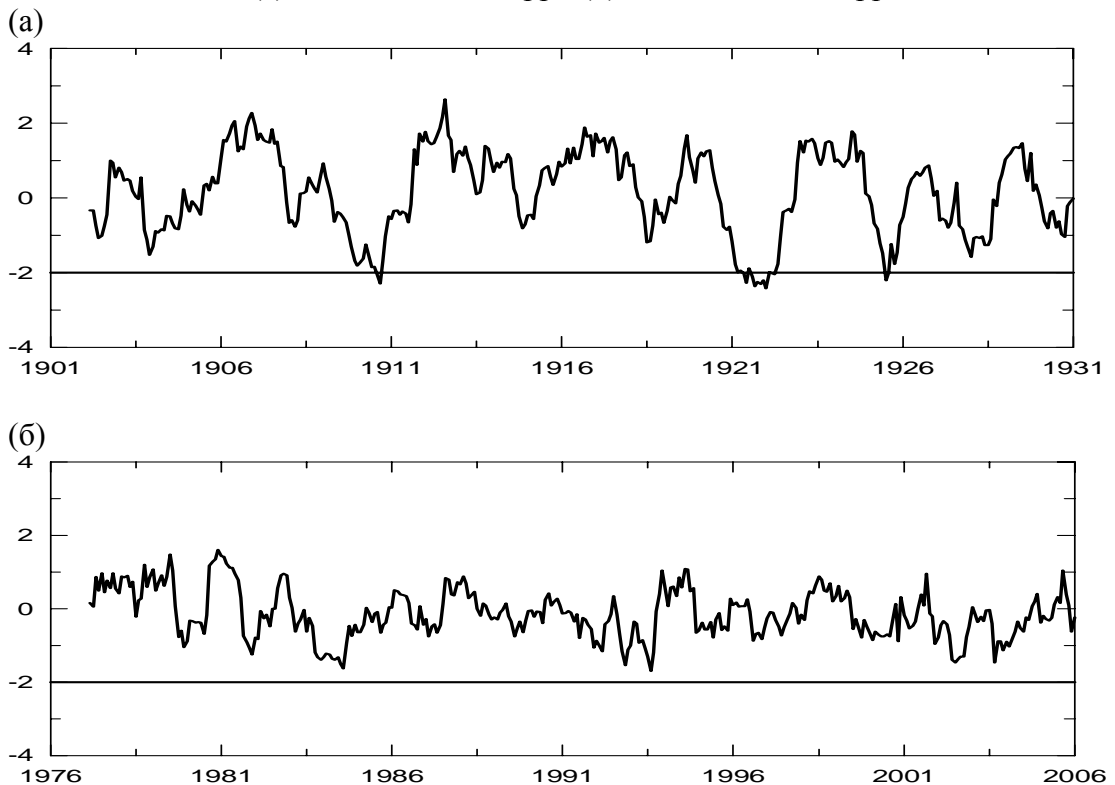


Рис. 2 – Розподіл індексу SPEI (по вертикалі) в м. Київ з масштабом часу 12 місяців: (а) – з 1901 по 1930 рр.; (б) – з 1976 по 2005 рр.

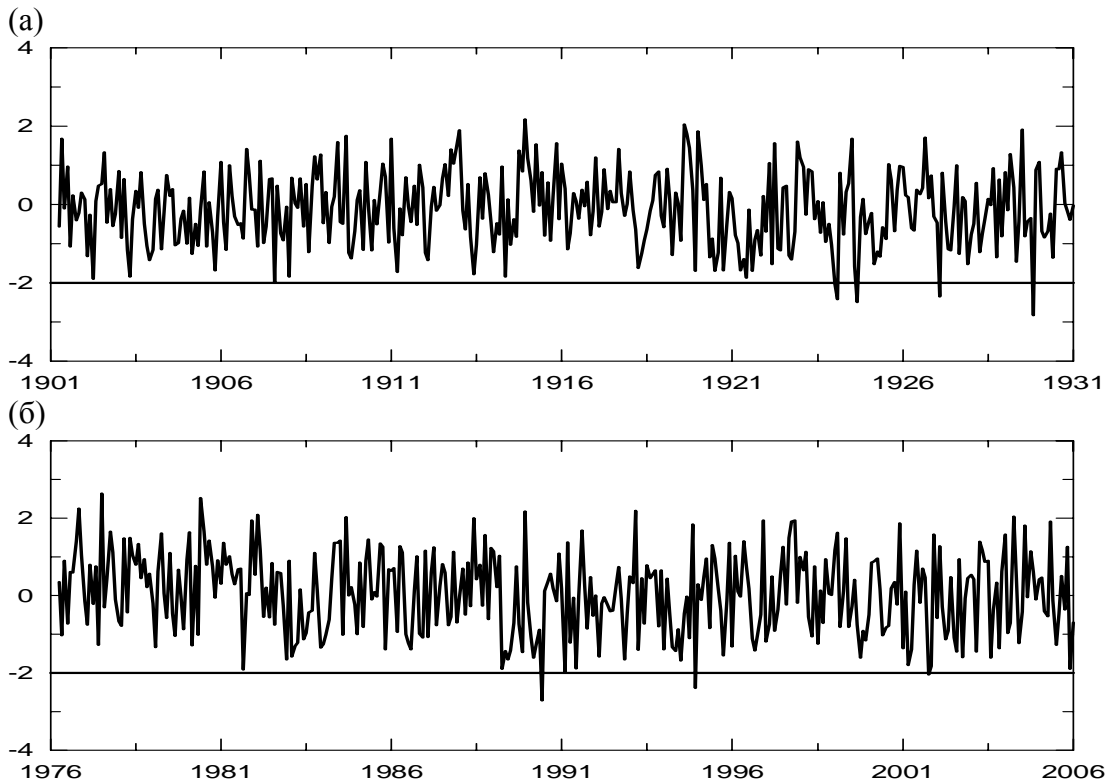


Рис. 3 – Розподіл індексу SPEI (по вертикалі) в м. Одеса з масштабом часу 1 місяць: (а) – з 1901 по 1930 рр.; (б) – з 1976 по 2005 рр.

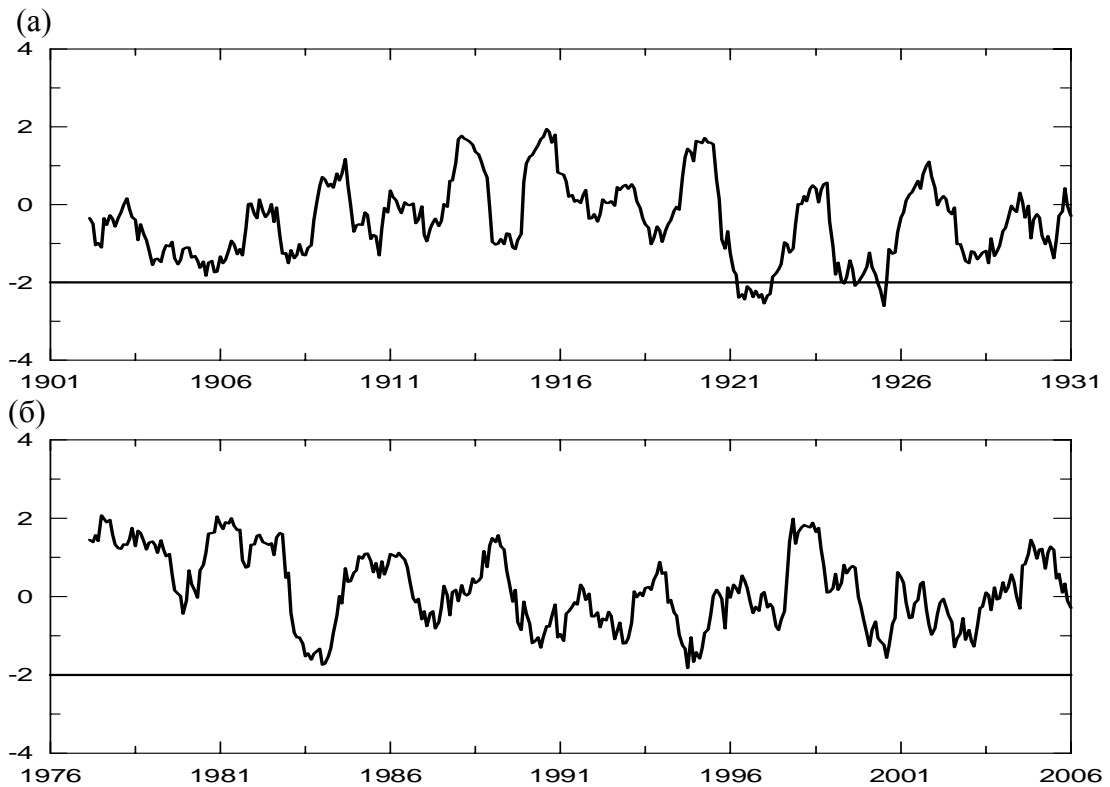


Рис. 4 – Розподіл індексу SPEI (по вертикалі) в м. Одеса з масштабом часу 12 місяців: (а) – з 1901 по 1930 рр.; (б) – з 1976 по 2005 рр.

Висновки. При порівнянні просторово-часових характеристик посух в різні проміжки часу на території України за допомогою стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування виявлено, що найбільшу частоту, інтенсивність та тривалість екстремальні посухи мали на початку 20 сторіччя, з максимумом в 1921–1930 рр. По території країни найбільш часто вони формувались в південних та центральних областях України. При цьому зменшення кількості посух в кінці сторіччя пояснюється збільшенням в останні роки рівня вологості ґрунту, яка враховується при обчисленні SPEI. Проте це твердження потребує більш детального дослідження й аналізу з урахування усіх регіональних особливостей змін клімату.

Список літератури

1. *Адамов П.Н., Аннинская Е.К. и др.* Опыт предварительного синоптического анализа основных 8 катастрофических засух за последнее сорокалетие (1891, 1893, 1901, 1906, 1911, 1921, 1924, 1931). Часть I. – М. Издание Центрального управления единой гидрометеорологической службы Союза ССР, 1933. – С. 44–47.
2. *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.
3. *McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J.* The relationship of drought frequency and duration to time scales // *Proceedings of Eighth Conference on Applied Climatology.* – Anaheim (USA). – 1993. – P. 179–184.
4. *Robock A., Mu M., Vinnikov K., Trofimova I.V., Adamenko T.I.* Forty-five years of observed soil moisture in the Ukraine: No summer desiccation (yet) // *Geophysical Research Letters.* – 2005. – Vol. 32.
5. *Thornthwaite C.W.* An approach toward a rational classification of climate // *Geographical Review.* – 1948. – Vol. 38, Iss. 1. – P. 55–94.
6. *Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I.* A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index // *Journal of Climate.* – 2010. – Vol. 23, Iss. 7. – P. 1696–1718.

Сравнение пространственно-временных характеристик засух в Украине в начале и конце XX века. Ермоленко Н.С., Хохлов В.Н.

Анализируются пространственно-временные характеристики экстремальных засух, определенных с помощью стандартизованного индекса осадков и суммарного испарения с масштабами времени 1, 3, 6, 9, 12, 24 месяца для территории Украины в течение 1901–1930 и 1976–2005 гг. Выявлено, что экстремальные засухи с наибольшей частотой, интенсивностью и продолжительностью наблюдались в начале 20 века.

Ключевые слова: *пространственно-временные характеристики, стандартизованный индекс осадков и суммарного испарения, экстремальная засуха.*

Comparison of spatio-temporal features of droughts in Ukraine beginning and the end of the twentieth century. Yermolenko N. S., Khokhlov V.N.

Spatio-temporal features of extreme droughts are analyzed using the standardized precipitation evapotranspiration index with time scales of 1, 3, 6, 9, 12, and 24 months for Ukraine during 1901–1930 and 1976–2005. It is revealed that the frequency, intensity and duration were maximal for extreme drought at earlier 1900-th.

Keywords: *spatio-temporal features, the standardized precipitation evapotranspiration index, extreme drought.*