

## ВПЛИВ ПІВНІЧНОАТЛАНТИЧНОГО КОЛИВАННЯ НА ПОСУХИ В УКРАЇНІ В УМОВАХ СУЧАСНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

*Досліджується часовий розподіл індексу Північноатлантичного коливання протягом 1951–2010 рр. Визначено, що в період глобального потепління та істотного збільшення кількості й екстремальності посух в Україні в атмосфері Північної Атлантики переважала позитивна фаза зазначеної структури атмосферної телеконекції. Встановлений значущий зв'язок між змінами індексів посухи та Північноатлантичним коливанням з періодом 2-3 роки.*

**Ключові слова:** Північноатлантичне коливання, стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування, вейвлет-перетворення.

**Вступ.** Протягом останніх десятиріч спостерігається істотне збільшення екстремальних природних явищ, в том числі й посух. За результатами останніх досліджень виявлено, що більше 20% загальних збитків, що завдають природні явища, припадає на результати дії посух. Посухи, а особливо їх екстремальні прояви, прискорюють розвиток опустелювання в різних регіонах світу. У глобальному масштабі з 1970-х років площа, уражена посухою, збільшилася вдвічі.

Беззаперечно цьому процесу передують інтенсивне антропогенне навантаження, що посилюється в умовах тривалих та інтенсивних посух. Проте більшість вчених пов'язують збільшення суворості та кількості посух в останні десятиріччя саме зі змінами глобального й регіонального клімату. За результатами дослідження Міжурядової групи експертів по змінам клімату [4], потепління кліматичної системи являється беззаперечним фактом, що доводять спостереження за глобальною середньою температурою повітря й океану, підвищенням глобального середнього рівня моря та таненням снігу й льоду. В середньому по всій земній кулі потепління в ХХ сторіччі відбувалося в двох фазах – у 1910–1940-х роках та починаючи з кінця 1970-их до теперішнього часу, а одинадцять з дванадцяти останніх років є найбільш теплими за всю історію інструментальних спостережень. Підвищення температури спостерігається по всій земній кулі, причому воно більш вагоме у високих північних широтах. Ймовірно, що збільшилась повторюваність хвиль тепла для більшості районів суходолу.

**Постановка проблеми.** Як відомо [3], головним фактором, що визначає мінливість клімату в Євроатлантичному секторі, є Північноатлантичне коливання (ПАК), яке відповідає за більш ніж третину всієї мінливості приземного тиску, а також від 20 до 60% мінливості температури та опадів холодного періоду над Скандинавією, Гренландією, Європою та Середземномор'ям. При цьому розрізняють дві фази ПАК. Тиск нижче нормального над Ісландією і вище нормального на Азорськими островами (так звана додатна фаза ПАК) викликає великі баричні градієнти, а зворотне співвідношення (від'ємна фаза ПАК) – їх зменшення. Зміни середньої циркуляції над Північною Атлантикою, пов'язані з ПАК, супроводжуються змінами інтенсивності та кількості інтенсивних циклонів, шляхів їх переміщення та погодних умов у них. Коли протягом холодної пори року переважає додатна фаза ПАК, швидкості вітру біля поверхні землі є більшими, а циклони, що зміщуються з заходу на схід через Північну Атлантику, є глибшими. Внаслідок цього спостерігається більш волога та тепла зима над Північною Європою та східним узбережжям США, а над Гренландією та Середземномор'ям – більш холодна та суха [7]. Дослідженню впливу Північноатлантичного коливання на різні гідрометеорологічні величини в

Європейському секторі присвячена велика кількість наукових робіт. В свою чергу, вплив ПАК на територію України вивчений дещо меншою мірою. Тому, в даній роботі зроблена спроба дослідження часового розподілу індексу Північноатлантичного коливання та мінливості посух, й встановлення їх взаємозв'язку в умовах сучасних змін клімату.

**Матеріали та методи дослідження.** Для визначення просторово-часової мінливості посух в умовах глобальних змін клімату використовувався багатомасштабний індекс посухи – стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування (SPEI) [10]. Для цієї роботи індекси посухи SPEI розраховані в період з 1951 по 2010 рр. з масштабом часу 12 місяців. Досліджувались два пункти спостереження, що розташовані на півночі та півдні України, – Чернігів та Одеса. Як відомо, вплив ПАК на територію України не може розглядатися в повному обсязі, тому що Україна знаходиться в перехідній зоні між процесами, пов'язаними з ПАК. Наприклад, в період негативної фази ПАК циклони рухаються на північ країни і не викликають значних змін в температурі і кількості опадів в Україні, як це відбувається в Західній Європі. Проте, позитивна фаза ПАК може бути пов'язана з посушливими умовами в південних регіонах країни. Тому саме полярно різні регіони досліджувались у даній роботі.

Для обчислення індексу SPEI використовувалась база даних середньомісячної температури повітря та опадів з кроком сітки  $0,5^\circ$  з 1948 року по теперішній час, яка нещодавно створена в Національному центрі з прогнозування клімату [5, 6]. Треба зазначити, що середнє значення SPEI дорівнює нулю, а середньоквадратичне відхилення – одиниці. При цьому, явище посухи фіксується в тому випадку, якщо SPEI приймає значення  $\leq -1$ . 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.

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

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

Як вихідні дані для дослідження мінливості ПАК, використаємо середньомісячні дані індексу ПАК Національного центру передбачення клімату США (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>). Одна з найбільш поширених методик визначення ПАК ґрунтується на використанні компонентного аналізу [2], згідно якої ПАК визначається за власними векторами матриці взаємної коваріації або кореляції, розрахованих за часовими рядами значень атмосферного тиску на рівні моря (чи якоїсь іншої придатної метеорологічної величини) у вузлах сітки. Власні вектори, кожний з яких є ортогональним у просторі та за часом до інших, потім масштабують відповідно до кількості (у відсотках) загальної дисперсії даних, яку вони пояснюють. За таким лінійним підходом припускається, що найкращими режимами атмосферної циркуляції є диполі, в яких аномалії обернених знаків мають майже однакову просторову структуру.

Процедура застосування компонентного аналізу для розрахунку індексів структур телеконекції є такою. Для кожного з місяців року за допомогою компонентного аналізу за даними про поля аномалій стандартизованих

середньомісячних висот АТ-500 гПа визначаються десять головних компонентів. Потім для цих компонентів застосовуються процедура Варімакс, в якій індекси для структур телеконекції, виявлених як десять головних компонентів, одночасно розраховуються для кожного з місяців за допомогою методу найменших квадратів. Таким чином, ці індекси є розв'язком системи рівнянь та відображують комбінацію режимів, які пояснюють найбільшу просторову мінливість спостереженого поля аномалій стандартизованих середньомісячних висот АТ-500 гПа у певний місяць року [2].

Існує припущення про наявність зв'язку між мінливістю ПАК та просторо-часовим розподілом індексу SPEI, що є об'єктивним показником посух, проте кількісно виразити такий зв'язок дуже важко. Тому, в даній роботі для виявлення впливу Північноатлантичного колювання на виникнення посух на території України застосовуємо вейвлет-перетворення, яке є достатньо гнучким у пристосуванні до локальних змін періоду сигналів, що змінюються в широких межах. Відомо, що вейвлет-розкладання є ефективним засобом для аналізу нестационарних часових рядів. Процедура безперервного вейвлет-перетворення детально наведена в роботі Торренса і Компо [8]. В даній роботі приведемо короткий опис методу вейвлет-перетворення.

Вейвлети є функціями стандартних блоків і аналогічні тригонометричним функціям синус та косинус. Перетворення Фур'є добуває деталі з частоти сигналу, але вся інформація про розташування окремої частоти всередині сигналу втрачається. Тому при аналізі нестационарних сигналів вейвлети за рахунок своєї локальності мають суттєву перевагу над перетворенням Фур'є. Припустимо, що є часовий ряд  $x_n$  з інтервалом  $\delta t$  і  $n = 0 \dots N-1$ , де  $N$  - кількість значень цього часового ряду. Припустимо також, що є вейвлет-функція  $\psi_0(\eta)$ , яка залежить від безрозмірного "часового" параметру  $\eta$ . Для того, щоб ця функція розглядалась як вейвлет, необхідно щоб вона мала середнє значення рівне нулю і була локалізована за часом та частотою

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2}, \quad (1)$$

$$\hat{\psi}_0(s\omega) = \pi^{-1/4} H(\omega) e^{-(s\omega - \omega_0)^2/2},$$

де  $\omega_0$  – безрозмірна частота, яка тут дорівнює 6 для задоволення умови допустимості.  $H(\omega)$  – функція Хевісайда з  $H(\omega) = 1$  для  $\omega > 0$  і  $H(\omega) = 0$  для  $\omega \leq 0$ .

Термін вейвлет-функція зазвичай використовується як до ортогональних, так і до не-ортогональних функцій. Безперервне вейвлет-перетворення дискретної послідовності  $x_n$  визначається як сукупність  $x_n$  масштабованою і зміщеною версією  $\psi_0(\eta)$

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x_{n'} \psi^* \frac{(n' - n)\delta t}{s}, \quad (2)$$

де надрядковий символ "\*" вказує комплексне спряження. У виразі (2) підрядковий символ "0" у  $\psi$  був опущений для вказівки того, що  $\psi$  була нормалізована. Змінюючи масштаб вейвлету  $s$  і зсув уздовж локалізованого часового індексу  $n$ , можна визначити як амплітуду по відношенню до масштабу, так і як ця амплітуда змінюється у часі. Хоч вейвлет-перетворення може бути здійснене за допомогою виразу (2), значно швидше розрахунки виконуються у просторі Фур'є.

Щоб апроксимувати неперервне вейвлет-перетворення, згортка (2) має бути зроблена  $N$  разів для кожного масштабу. Теорема про згортку дозволяє зробити  $N$  згорток одночасно за допомогою дискретного перетворення Фур'є

$$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-2\pi i k n / N}, \quad (3)$$

де  $k = 0, 1, \dots, N-1$  – індекс частоти.

Через те, що перетворення Фур'є функції  $\psi(t/s)$  задається через  $\hat{\psi}(s\omega)$ , то вейвлет-перетворення визначається як зворотне перетворення Фур'є

$$W_n(s) = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}_k \hat{\psi}^*(s\omega_k) e^{ik\omega_k \delta t}, \quad (4)$$

де кутова частота дорівнює

$$\omega_k = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N\delta t} & k \leq \frac{N}{2}, \\ -\frac{2\pi k}{N\delta t} & k > \frac{N}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Використовуючи вираз (4) та стандартну процедуру перетворення Фур'є, можна одночасно виконати неперервне вейвлет-перетворення (для заданих  $s$ ) на усіх  $n$ .

Щоб забезпечити порівнянність вейвлет-перетворень (4) поміж собою, вейвлет-функція нормалізується на кожному масштабі  $s$

$$\hat{\psi}(s\omega_k) = \sqrt{\frac{2\pi s}{\delta t}} \psi_0(s\omega_k). \quad (6)$$

Через те, що вейвлет-функція є взагалі комплексною, вейвлет-перетворення  $W_n(s)$  також є комплексним. Тоді перетворення може бути поділено на дійсну  $\Re\{W_n(s)\}$  та уявну  $\Im\{W_n(s)\}$  частини або на амплітуду  $|W_n(s)|$  та фазу  $\tan^{-1}[\Im\{W_n(s)\}/\Re\{W_n(s)\}]$ . Нарешті, можна визначити енергетичний вейвлет-спектр як  $|W_n(s)|^2$ .

Після того, як вибрана вейвлет-функція, необхідно вибрати масштаби  $s$  для використання у вейвлет-перетворенні (4). Щоб відобразити більш повну картину, для неортогонального вейвлет-аналізу можна використати довільний набір масштабів

$$s_j = s_0 2^{j\delta j}, \quad (7)$$

де  $s_0$  – найменший розв'язуваний масштаб,

$J$  – найбільший масштаб;  $J = \delta j^{-1} \log_2(N\delta t/s_0)$ .

Масштаб  $s_0$  має бути вибраний таким, щоб еквівалентний період Фур'є дорівнював приблизно  $2\delta t$ . Вибір достатньо малого  $\delta j$  залежить від ширини спектрального простору вейвлет-функції. Для вейвлета Морле  $\delta j \approx 0,5$  є найбільшим значенням, за якого все ще можлива адекватна дискретизація за масштабом, тим часом як для інших вейвлет-функцій можуть використовуватися більші значення. Природно, що менші значення  $\delta j$  забезпечують більш високе розділення.

Через те, що зазвичай часові ряди мають скінченну довжину, на початку і наприкінці енергетичного вейвлет-спектра мають місце помилки внаслідок того, що у (2) припускається циклічність даних. Вирішенням цієї проблеми є додавання нулів до кінця часового ряду та вилучення їх після виконання вейвлет-перетворення. Частіше за все кількість доданих нулів є такою, щоб довжина часового ряду  $N$  після додавання була діадичною, що обмежує крайові ефекти та прискорює перетворення Фур'є. Додавання нулів, природно, призводить до невизначеності поблизу меж. Тому вводиться поняття заглибу депресії, яка є зоною вейвлет-спектра, де межові ефекти є істотними, і визначається як час експоненціальної згортки для автокореляції вейвлет-спектра на кожному масштабі. Для вейвлета Морле цей час дорівнює  $\sqrt{2}s$ .

Наступним етапом аналізу часового ряду за допомогою неперервного вейвлет-перетворення є визначення відповідного фонового спектра для визначення рівня значущості результатів, після чого припускається, що різні реалізації процесу будуть випадково розподілені поряд з цим фоном і реальний спектр може бути порівняний з цим випадковим розподілом. Для більшості геофізичних явищ слухним фоновим спектром є білий шум (рівномірний спектр Фур'є) або червоний шум (збільшення

енергії зі зменшенням частоти).

Простою моделлю червоного шуму є одновимірний авторегресійний процес із запізнюванням AR(1)

$$x_n = \alpha x_{n-1} + z_n, \quad (8)$$

де  $z_n$  – гаусів білий шум.

Дискретний енергетичний спектр Фур'є для (8) після нормалізації задається у вигляді

$$P_k = \frac{1 - \alpha^2}{1 + \alpha^2 - 2\alpha \cos(2\pi k/N)}, \quad (9)$$

де  $k = 0, 1, \dots, N/2$  – індекс частоти.

Відповідно, вибравши певний параметр  $\alpha$ , можна використовувати (9) як модель спектра червоного шуму, а встановивши  $\alpha = 0$  – білого шуму.

Нульова гіпотеза для енергетичного вейвлет-спектра задається у такий спосіб. Припускається, що часовий ряд має середній енергетичний спектр, можливо заданий за допомогою (9). Якщо пік енергетичного вейвлет-спектра істотно вище цього фонового спектра, то цей пік може розглядатися як особливість процесу з певним ступенем упевненості.

Нормалізований енергетичний спектр Фур'є задається через  $N|\hat{x}_k|^2/2\sigma^2$ , де  $\sigma^2$  – дисперсія часового ряду. Якщо  $x_n$  є випадковою змінною, яка підлягає нормальному розподілу, то і дійсна, й уявна частина  $\hat{x}_k$  розподілені нормально. Через те, що квадрат нормально розподіленої величини підлягає розподілу хі-квадрат з одним ступенем свободи, то  $|\hat{x}_k|^2$  підлягає розподілу хі-квадрат з двома ступенями свободи, який позначається, як  $\chi_2^2$ . Тоді, щоб визначити 95% рівень значущості, потрібно помножити фоновий спектр на 95-ту перцентиль величини для  $\chi_2^2$ . Нарешті, припускаючи середній фоновий спектр (червоний шум), розподіл для енергетичного спектра Фур'є є

$$\frac{N|\hat{x}_k|^2}{2\sigma^2} \Rightarrow \frac{1}{2} P_k \chi_2^2 \quad (10)$$

для кожного індексу частоти  $k$ , а « $\Rightarrow$ » позначає «розподілено як». Відповідний розподіл для локального енергетичного вейвлет-спектра є

$$\frac{|W_n(s)|^2}{2\sigma^2} \Rightarrow \frac{1}{2} P_k \chi_2^2 \quad (11)$$

для кожного часу  $n$  і масштабу  $s$ . Значення  $P_k$  у (11) є середнім спектром на частоті Фур'є, яка відповідає масштабу вейвлета  $s$ . За винятком співвідношення між  $k$  та  $s$ , вираз (11) не залежить від вейвлет-функції. Після знаходження відповідного фонового спектра і вибору конкретної значущості для  $\chi_2^2$ , наприклад, 95%, можна розрахувати (11) на кожному масштабі.

**Основні результати.** Проаналізуємо розподіл індексу Північноатлантичного колювання протягом періоду дослідження, тобто з 1951 по 2010 рр. При цьому для вивчення часової мінливості індексу ПАК в загальному вигляді розглянемо нормалізовані середньосезонні (з грудня по березень) значення вказаного показника, оскільки Північноатлантичне колювання та його вплив на погодні умови Європи є найбільш активний саме в зимові місяці. Результати багатьох досліджень показують, що зимові індекси ПАК відображають просторову структуру ПАК для всього року.

З рис. 1 видно, що починаючи з 1950-х років в основному переважала від'ємна фаза ПАК. Позитивні значення індексу фіксувались лише в окремі роки. Максимальні

від'ємні значення індексу ПАК зареєстровані наприкінці 1960-х – на початку 1970-х років. Далі спостерігається тривалий проміжок часу з позитивними значеннями індексу ПАК, проте, кінець 1970-х відзначився зміною фази та переважанням негативних показників. Однак вагомих змін індекс ПАК зазнає лише з початку 1980-х років, а це співпадає з початком періоду глобального потепління та значним підвищенням середньої температури повітря.

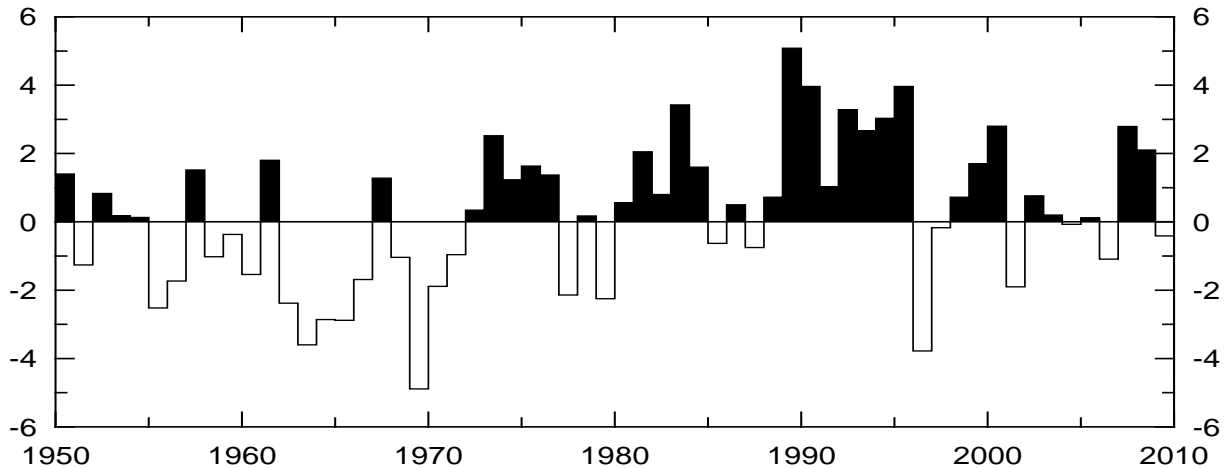


Рис. 1 – Сезонний (грудень-березень) розподіл індексу ПАК протягом 1951–2010 рр.

Позитивна фаза Північноатлантичного колювання переважно була панівною протягом кінця ХХ – початку ХХІ століття.

Як зазначалось у попередньому дослідженні [1], в цей час фіксується й істотне збільшення кількості, тривалості та суворості посух в Україні. Аналізуючи особливості просторово-часового розподілу основних характеристик посух було виявлено, що найбільш тривалі та суворі посухи спостерігались протягом 1981–2010 рр. Зосереджувались вони в основному над південно-західними та західними регіонами України. Тривалість і суворість посух протягом 1951–1980 рр. була дещо меншою й розташовувались вони на півночі та північному сході країни.

Таким чином, можна зауважити, що починаючи з 1980-х років, коли фіксувалось зростання кількості й екстремальності посух в Україні, в атмосфері Північної Атлантики переважала позитивна фаза ПАК.

Для більш детального аналізу зв'язку Північноатлантичного колювання та індексу посухи SPEI й виявлення переважаючої фази ПАК, під впливом якої формуються посушливі умови в Україні, були побудовані гістограми повторюваності різних градацій індексу SPEI з масштабом часу 12 місяців окремо для негативної та позитивної фази для пунктів Одеса та Чернігів (рис. 2). При цьому слід зазначити, що гістограми показують повторюваність різних градацій SPEI з масштабом часу 12 місяців, якщо ПАК перебуває в позитивній фазі ( $> 0,5$ ) або в негативній ( $< -0,5$ ).

В Одесі при позитивній фазі ПАК (рис. 2а) простежується чітке переважання від'ємних значень індексу SPEI, що свідчить про наявність посушливих умов або посух. Протилежна ситуація спостерігається у випадку негативної фази ПАК. Оскільки рис. 2б показує, що фіксується значне зміщення в сторону додатних значень індексу посухи SPEI, що характеризує умови надмірного зволоження. Дещо інші результати отримані для Чернігова. Порівнювати результати, отримані для Одеси та Чернігова, можна відзначити, що у випадку негативної фази (ПАК  $< -0,5$ ) в Чернігові, як і в Одесі, найбільшу повторюваність мають додатні значення SPEI, тобто спостерігаються умови надмірного зволоження. Для позитивної фази (ПАК  $> 0,5$ ), на відміну від Одеси, в

Чернігові не відзначається значного переважання від'ємних показників індексу посухи, а спостерігаються як посушливі, так і "вологі" умови.

Тобто, попередні припущення, що посухи в Україні формуються в своїй більшості при позитивній фазі індексу Північноатлантичного колювання, підтверджують і результати представлені на рис. 2.

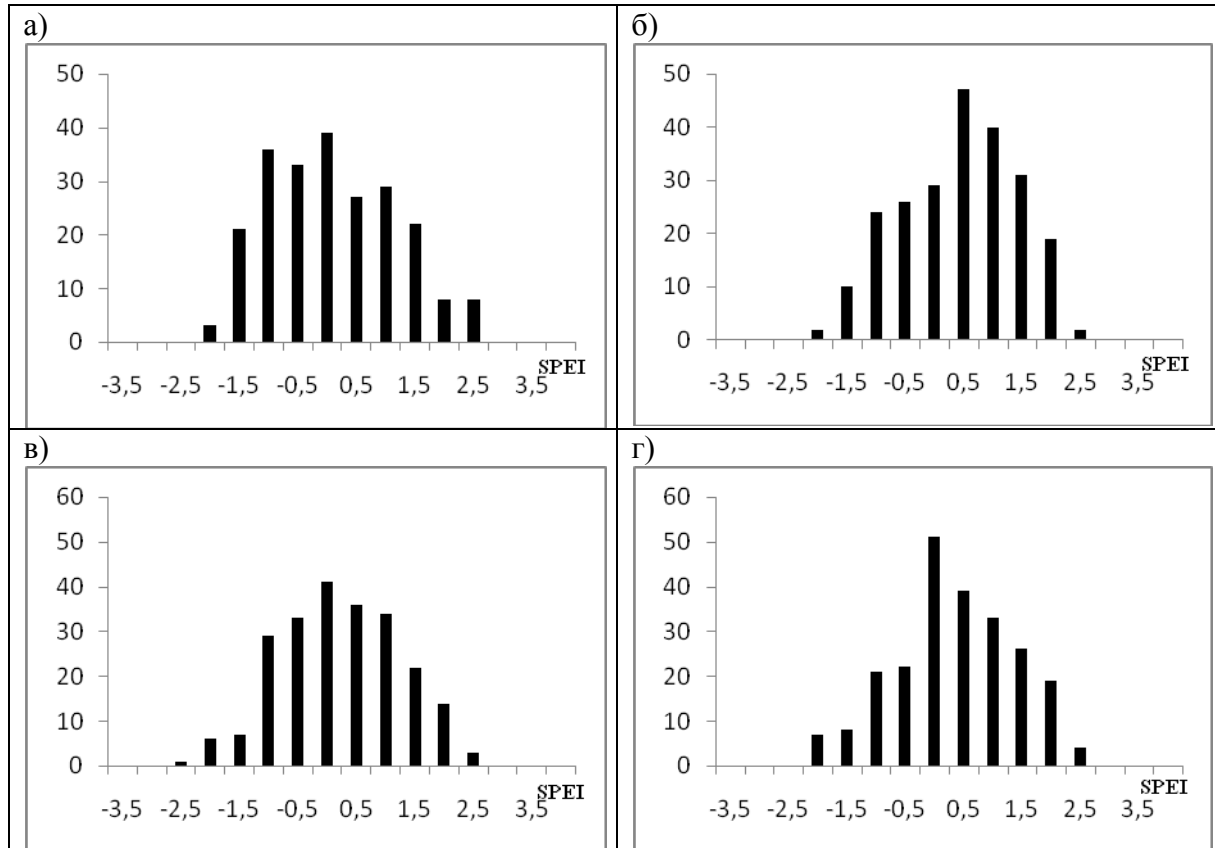


Рис. 2 – Повторюваність посух (SPEI 12) залежно від фази ПАК в Одесі (а – позитивна фаза; б – негативна фаза) та в Чернігові (в – позитивна фаза; г – негативна фаза) протягом 1951–2010 рр.

Далі для виявлення зв'язку та його кількісного опису між процесами, що виникають над Північною Атлантикою, та умовами формування посух над Україною застосуємо методику вейвлет-аналізу. Як вихідні дані використаємо два часових ряди. Перший – це безпосередньо середньомісячні значення індексу Північноатлантичного колювання в період з 1951 по 2010 рр., другий – значення індексу посухи SPEI з масштабом часу 12 місяців, що також розраховані для кожного місяця, протягом цього ж періоду часу для Одеси та Чернігова (рис. 3).

Рівень значущості 5 % показано товстими лініями. Відносна фаза позначається стрілками. Якщо стрілки направлені праворуч, то два ряди перебувають у фазі, ліворуч – у протифазі. В тому випадку, коли стрілки направлені догори – перший ряд випереджає другий, вниз – навпаки. В даній роботі для виявлення зв'язку між індексами ПАК та SPEI застосуємо так зване перехресне вейвлет-перетворення (cross-wavelet). Перехресне вейвлет-перетворення (XWT) двох часових рядів  $x_n$  і  $y_n$  визначається як  $W^{XY} = W^X W^{Y*}$ , де зірочка позначає комплексне сполучення. Далі потужність сигналу вейвлет-перетворення визначається як  $|W^{XY}|$  і комплексний

аргумент  $\arg(W^{XY})$  є локальною відносною фазою між  $x_n$  і  $y_n$  в частотно-часовому просторі.

Аналіз перехресного вейвлет-перетворення індексу посухи SPEI з масштабом часу 12 місяців та середньомісячних значень індексу ПАК, виконаний для пункту Одеса, показав, що існує значущий зв'язок між змінами індексів посухи та ПАК з періодом 2-3 роки. Найбільш значуща широка смуга спостерігається протягом 1970–2000 рр., тобто в період глобального потепління. При чому стрілки направлені ліворуч, що свідчить про те, що ці два ряди перебувають в протифазі. Через те, що індекс ПАК мав тенденцію до зростання, то SPEI, перебуваючи в протифазі, буде зменшуватись, тобто набувати більш від'ємних значень, що, в свою чергу, пояснює посилення інтенсивності та суворості посух в Україні в останні десятиріччя.

У випадку станції Чернігів, на відміну від Одеси, такої широкої смуги вейвлет-перетворення не зафіксовано, хоча й спостерігаються поодинокі значущі осередки з періодом також 2-3 роки.

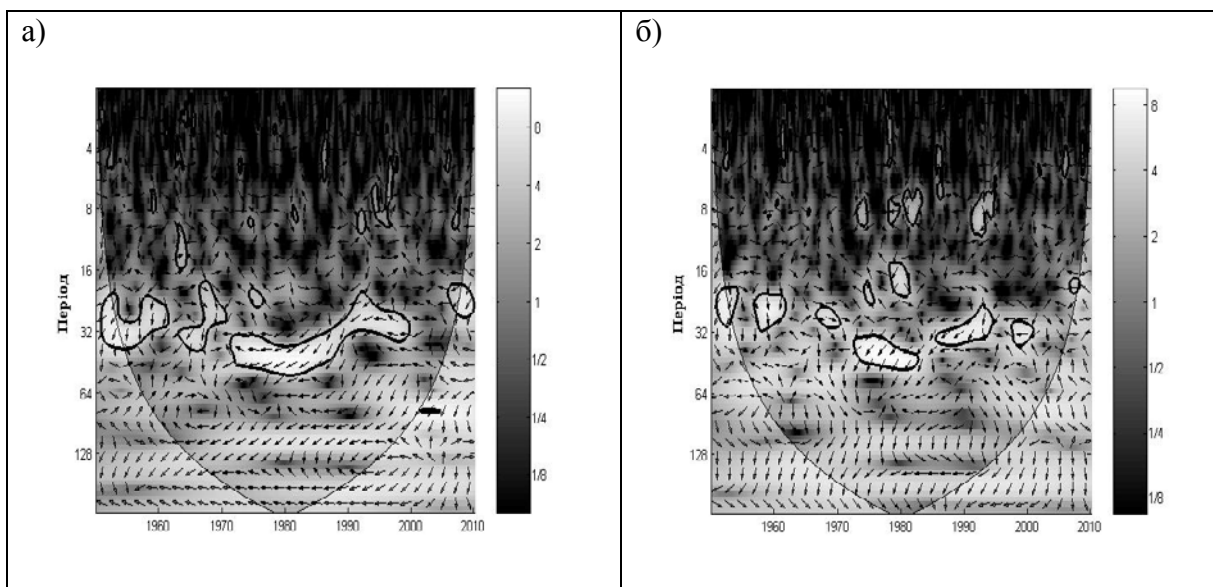


Рис. 3 – Вейвлет-перетворення індексів ПАК та SPEI з масштабом часу 12 місяців в м. Одеса (а) та м. Чернігів (б) в період 1951–2010 рр.

**Висновки.** В даній роботі виявлено, що в умовах сучасних змін клімату на території України спостерігається істотне збільшення кількості, тривалості та інтенсивності посух. Встановлено, що одним з головних чинників, що впливає на умови формування посух в Україні є Північноатлантичне коливання. Аналіз часового розподілу індексу ПАК протягом періоду 1951–2010 рр. показав, що в період глобального потепління та інтенсивного росту кількості посушливих явищ, тобто з 1980-х років і до теперішнього часу, переважала позитивна фаза ПАК. Побудовані гістограми розподілу стандартизованого індексу SPEI також демонструють, що посухи в Україні формуються в своїй більшості за позитивної фази Північноатлантичного коливання, особливо це стосується південних регіонів країни. Застосування вейвлет-аналізу двох часових індексів ПАК та SPEI показало, що найбільш значущий зв'язок між індексом посухи SPEI та ПАК зафіксований приблизно в періодом 2-3 роки. При чому два ряди перебувають в протифазі, це пояснює збільшення частоти та інтенсивності посух в Україні в період панування позитивної фази Північноатлантичного коливання.



## Список літератури

1. Хохлов В.М., Єрмоленко Н.С. Про зв'язок середнього річного стоку р. Південний Буг з посухами в період 1951–2010 рр. // Вісник ОДЕКУ. – 2013. – Вип. 16. – С. 51–59.
2. Школьнік Є.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник / Школьнік Є.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. – К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.
3. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. – 1987. – V. 115. – P. 1083–1126.
4. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* / S. Solomon et al. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
5. Fan Y., H. van den Dool. A global monthly land surface air temperature analysis for 1948–present. // Journal of Geophysical Research. – 2008. – Vol. 113 – D01103.
6. Fan Y., H. van den Dool. Climate Prediction Center global monthly soil moisture data set at 0.5° resolution for 1948 to present. // Journal of Geophysical Research. – 2004. – Vol. 109. – D10102.
7. Hurrell J.W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on northern hemisphere temperature // Geophys. Res. Lett. – 1996. – V. 23. – P. 665–668.
8. Khokhlov V.N. Atmospheric teleconnection patterns and eddy kinetic energy content: wavelet analysis / V.N. Khokhlov, A.V. Glushkov, I.A. Tsenenko // Nonlinear Processes in Geophysics. – 2004. – Vol. 11, No. 3. – P. 295–301.
9. Torrence C., Compo G.P. A practical guide to wavelet analysis // Bull. Amer. Meteorol. Soc. – 1998. – V. 79. – P. 61–78.
10. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index // Journal of Climate. – 2010. – Vol. 23, Iss. 7. – P. 1696–1718.

### **Влияние Североатлантического колебания на засухи в Украине в условиях современных климатических изменений. Ермоленко Н.С.**

*Исследуется временное распределение индекса Североатлантического колебания в течение 1951–2010 гг. Определено, что в период глобального потепления и существенного увеличения количества и экстремальности засух в Украине в атмосфере Северной Атлантики преобладала положительная фаза указанной структуры атмосферной телеконнекции. Установлена значимая связь между изменениями индексов засухи и Североатлантическим колебанием с периодом 2–3 года.*

**Ключевые слова:** Североатлантическое колебание, стандартизованный индекс осадков и суммарного испарения, вейвлет-преобразование.

### **Influence of North Atlantic Oscillation on droughts in Ukraine in conditions of modern climate change. Yermolenko N. S.**

*We study the time distribution of the North Atlantic Oscillation index during 1951–2010. It was found that the positive phase of this teleconnection pattern was dominant during the global warming and resulted in the significant increase in the number and extremity of drought in Ukraine. It was also revealed the significant relationship between changes in the indices of drought and North Atlantic Oscillation with the period of 2–3 years.*

**Keywords:** North Atlantic Oscillation, standardized precipitation evapotranspiration index, wavelet transform.