

Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса
e-mail: julia_bojok@mail.ru

Анотація. Описані підходи до розрахунків показників метеорологічних та гідрологічних посух на основі даних кліматичних сценаріїв глобального потепління. Для визначення характеристик метеорологічних посух обрані індекси посушливості, для гідрологічних посух – показник і низького стоку.

Ключові слова: метеорологічні та гідрологічні посухи, кількісні показники посух, сценарії глобального потепління.

Вступ

Атмосферна посуха є періодом, який характеризується нестачею опадів у порівнянні з нормою на протязі тривалого часу при підвищеній температурі повітря, в результаті чого виснажуються запаси вологи у ґрунті і складаються несприятливі умови для розвитку рослин [15].

Головним чинником формування посух є мала кількість опадів й порівняно високі температури повітря. Збільшення температури повітря, сильні вітри, мала кількість опадів відіграють значну роль у виникненні посухи. Посуха впливає як на поверхневі, так і підземні води й може призвести до дефіциту води, погіршення її якості, порушення стану прибережного середовища й призупинення рекреаційної діяльності [1].

Зміни температур та опадів, які відбуваються у процесі глобального потепління [18], впливають на кількісний та якісний стан водних ресурсів та їх доступність. У посушливих областях помірних широт та напівпустелях очікується зростання площ, які будуть охоплюватися посухами, що може ускладнювати продовольчу безпеку, забезпечення населення та сільського господарства водою, енергетику та здоров'я людей.

Гідрологічна посуха є досить тривалим періодом сухої погоди, який викликає нестачу споживання води через зменшення стоку (нижче установлених норм) та зменшення вмісту вологи в ґрунті й зростання глибини залягання дзеркала ґрунтових вод [11]. Гідрологічна посуха може тривати більше одного року і захоплювати більше одного водозбору, вона зазвичай настає з запізненням по відношенню до метеорологічної та сільськогосподарської посух. Виявлення зв'язку гідрологічних посух з показниками зволоженості / посушливості досліджуваних водозборів часто ускладнюється через одночасний вплив на гідрологічні характеристики природних та антропогенних чинників підстильної поверхні, таких як вирубка лісу, деградація земель, створення ставків та водосховищ, вилучення води на господарські потреби та інше.

Посуха як стихійне метеорологічне явище найбільше впливає на характеристики мінімального стоку річок, оскільки за умов довготривалої відсутності опадів стік річок формується лише за рахунок надходження до русла підземних вод з водоносних горизонтів. У свою чергу, запаси підземних вод, які живлять річку у період межені, за наявності метеорологічної посухи також виснажуються, що приводить до її пересихання. У деяких публікаціях [19] термін "оперативна посуха" застосовується до межені, яка є наслідком природної нестачі води і певних управлінських рішень, коли дефіцит води відбувається на потребах споживачів води.

В основу більшості досліджень покладено уявлення про мінімальний стік як про показник дефіциту води відносно якогось заданого "порогового" значення витрати, що отримало розповсюдження в зарубіжній літературі [24,17]. Такими показниками дефіциту води можуть слугувати дані про тривалість пересихання річок, тривалість стояння заданої витрати води, такі характеристики мінімального стоку як мінімальний середній місячний стік, мінімальний добовий стік, їх середні багаторічні витрати або витрати заданої забезпеченості (найчастіше використовуються мінімальні місячні витрати забезпеченістю 75-95%).

Стан проблеми

Просторово-часовий розподіл посух різних категорій (помірні, інтенсивні, екстремальні) на основі розрахунків індексів посушливості для території України виконаний під керівництвом проф.

В.М. Хохлова (ОДЕКУ) [13]. Результати проведеного ним аналізу дозволили установити, що в період 1951–1980 рр. посухи в основному формувались в північно-східних областях України (Харківській, Чернігівській, Сумській), а протягом 1981–2010 рр. осередки максимальних значень індексів посушливості зосереджені в південних та південно-західних районах, а саме Чернівецькій, Одеській та Миколаївській областях. Проте найбільша кількість екстремальних посух мала місце у 30-ті роки минулого сторіччя [6].

Аналіз коливань середніх температур повітря, річних сум опадів та стоку, виконаний для території України Н.С. Лободою з використанням різницевого інтегральних кривих й факторного аналізу [7] показав, що перехід коливань середніх річних температур повітря у теплу (додатну фазу) для правобережної України відбувся у кінці 80-х років минулого сторіччя. У коливаннях опадів виділяються три фази: з кінця 19 століття по 1964 рр. – суха фаза, з 1965 по 1981 рр. – волога (додатна) фаза, з 1982 по 2009 рр. – знов від’ємна фаза, на фоні якої для окремих річок відбувалися “сплески” підвищеної зволоженості. Збільшення температур повітря обумовлює зростання випаровування з поверхні суші, що у поєднанні із зменшенням кількості опадів призводить до зменшення стоку. Характеристиками зволоженості або посушливості клімату слугують показники, які відображають співвідношення ресурсів вологи і тепла.

У світовій практиці було здійснено безліч спроб проведення аналізу та моніторингу посух. Одним з перших учених, який займався проблемою визначення характеристик і ознак посух був Дрейкап [17]. На його переконання явище посухи має складатися з трьох головних ознак, таких як тривалість, ступінь тяжкості і масштабність. Аналіз частоти цього явища з точки зору тривалості, ступеня тяжкості та масштабності досить складний, оскільки кожен з цих параметрів може мати власне розподіл ймовірностей [12].

Один з найбільш поширених підходів до аналізу зміни посушливості заснований на використанні спеціальних індексів, які, з одного боку, відображають умови виникнення сільськогосподарської або гідрологічної посухи (вологість ґрунту, стік), а з іншого боку, можуть бути розраховані на базі даних стандартних гідрологічних спостережень .

Більшість існуючих індексів посушливості спирається на співвідношення наявних запасів води (причому основною складовою є опади) з втратами води на випаровування, яке визначається у значній мірі припливом сонячної радіації. Тепловий та турбулентний баланси підстильної поверхні обумовлюють температурний режим. Один з перших і, ймовірно, найпростіших індексів був запропонований Мартоном [5]. Індекс Мартона визначається за великий період спостережень і виражається наступним чином:

$$\alpha = \frac{X}{10 + T}, \quad (1)$$

де X – середні річні опади, мм; T – середня річна температура повітря, °С. Значення $\alpha < 15$ характерні для аридних зон.

Більш обґрунтоване визначення характеристики посушливості запропоновано Торнтвейтом [13], який запропонував установлювати індекс посушливості, використовуючи концепцію потенційного випаровування, або потенційної евапотранспірації (PET), під якою слід розуміти максимальну кількість води, яка могла б випаритися в заданих кліматичних умовах з поверхні суші, покритою рослинністю, при наявності достатнього запасу води. PET за формулою Торнтвейта виражається як функція сум температур повітря за 12 місяців. За відношенням кількості річних опадів до величини PET визначається ступінь аридності території [23]

$$X/PET < 0,03 \text{ – гіпераридная зона;} \quad (2)$$

$$0,03 < X/PET < 0,20 \text{ – аридна зона;} \quad (3)$$

$$0,20 < X/PET < 0,50 \text{ – напіваридна зона,} \quad (4)$$

де X – шар середніх річних опадів.

У наукових розробках Одеського державного екологічного університету [4] для визначення потенційного випаровування території використовують поняття еквіваленту теплоенергетичних ресурсів клімату E_m , яке трактується як максимально можливе випаровування з поверхні суші, яке мало б місце, якщо б на процес випаровування були витрачені всі теплоенергетичні ресурси клімату [10]. Для кількісної оцінки посушливості/ зволоженості використовується наступний індекс

$$\beta_x = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \quad (5)$$

де \bar{X} – середнє багаторічне значення річних опадів, мм; \bar{E}_m – середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

За значенням індексу β_x визначається ступінь зволоженості території:

$$\beta_x \geq 1,0 \text{ – зона надмірного зволоження,} \quad (6)$$

$$0,8 < \beta_x < 1,0 \text{ – зона достатнього зволоження,} \quad (7)$$

$$0,5 \leq \beta_x < 0,8 \text{ – зона недостатнього зволоження.} \quad (8)$$

У роботах Е.Д. Гопченка і Н.С. Лободи [8] для території України наведені результати розрахунків і просторового-часового узагальнення величини E_m . Ця величина отримана регіональна формула для її визначення в залежності від температур повітря. Слід зазначити, що територія північно-західного Причорномор'я знаходиться у зоні недостатнього зволоження, тобто $\beta_x > 0,5$. Проте, при змінах співвідношення між ресурсами тепла та вологи в умовах глобального потепління можливий перехід до напіваридної $0,2 \leq \beta_x < 0,5$ зони.

Для встановлення просторово-часової мінливості посух використовується багатомасштабний індекс посушливості - стандартизований індекс опадів і сумарного випаровування SPEI, впроваджений в міжнародну практику з 2009 року.

У розрахунку SPEI використовуються дані про різницю між щомісячними (або щотижневими) опадами X_i і потенційним випаровуванням PET .

Першим кроком визначення SPEI є розрахунок середнього місячного значення PET :

$$PET = 16k \left(\frac{10T}{I} \right)^m, \quad (9)$$

де T – середня місячна температура повітря, °C; I – індекс тепла, який розраховується як сума 12-місячних значень індексу i , який залежить від температури повітря; m – коефіцієнт, пов'язаний з I ; k – коригуючий коефіцієнт, який визначається за широтою місця розташування та календарного місяця.

Другий крок визначення SPEI включає до себе обчислення різниці

$$D_i = X_i - PET_i \quad (10)$$

Для ймовірнісного опису SPEI в різних часових масштабах використовується трьох-параметричний гамма-розподіл ймовірностей. У трьох-параметричному розподілі досліджувана величина x може приймати значення в діапазоні ($\gamma > x < \infty$), де γ є параметром вихідного розподілу, отже, x може приймати негативні значення, що характерно для ряду D [22]. Для стандартизації рядів D використовують лог-логістичний розподіл.

Функція щільності ймовірностей трьох-параметричного лог-логістичного розподілу представляється як

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right]^{-2}, \quad (11)$$

де α , β і γ – показники масштабу, форми і походження, відповідно, для значень ряду D в діапазоні ($\gamma > D < \infty$).

Параметри лог-логістичного розподілу можуть бути отримані за допомогою різних підходів. У зарубіжній практиці широко використовується метод L-моментів. L-моменти аналогічні звичайним центральним моментам, але вони можуть характеризувати широкий спектр функцій розподілу і є більш надійними по відношенню до обліку викидів в даних [21].

Коли L-моменти розраховані, параметри розподілу можуть бути отримані таким чином:

$$\beta = \frac{2\omega_1 - \omega_0}{6\omega_1 - \omega_0 - 6\omega_2}; \quad (12)$$

$$\alpha = \frac{(\omega_0 - 2\omega_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}; \quad (13)$$

$$\gamma = \omega_0 - \alpha \Gamma\left(\frac{1+\alpha}{\beta}\right) \Gamma\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right), \quad (14)$$

де $\Gamma(\beta)$ є гамма-функцією β .

Інтегральну функцію розподілу ряду D , згідно лог-логістичному розподілу, отримують з рівняння

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1}. \quad (15)$$

Індекси SPEI розраховуються з використанням методу Абрамовича й Стегунова [16]

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3}, \quad (16)$$

де

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)}, \text{ при } P \leq 0,5, \quad (17)$$

де P – забезпеченість значень ряду D , де $P = 1 - F(x)$.

Якщо $P > 0,5$, то цей параметр замінюють на $(1-P)$ і знак результуючого SPEI змінюється на зворотний. Константи мають такі значення $C_0 = 2,515517$, $C_1 = 0,802853$, $C_2 = 0,010328$, $d_1 = 1,432788$, $d_2 = 0,189269$, $d_3 = 0,001308$.

Середнє значення SPEI дорівнює нулю, а стандартне відхилення - 1. SPEI є стандартизованою змінною, що спрощує аналіз у часі і просторі.

Дослідження зв'язків між показником посушливості SPEI та водністю річок наведено у роботах [9,3]

Метою дослідження є установлення зв'язків між показниками метеорологічної посушливості та характеристиками гідрологічної посухи, серед яких були розглянуті характеристики меженного стоку північно-західного Причорномор'я.

Методи і матеріали дослідження

У роботі використані методи розрахунків характеристик мінімального та меженного стоку, а також методи визначення індексів посушливості SPEI. До розрахунків залучалися ряди метеорологічних спостережень на метеорологічних станціях Любашівка (1960-2011 рр.), Одеса (1944-2011 рр.) , Роздільна (1961-2011 рр.); ряди гідрологічних спостережень у створі р.Тілігул – с. Новоукраїнка (період спостережень 1955-1987 рр.), р.Тілігул - смт Березівка (період спостережень 1953-2011 рр.); р.Савранка – с.Осички (період спостережень 1982-2011 рр.), матеріали сценарію глобального потепління А1В.

Результати

За умови збереження підземного живлення річки на протязі межені досліджені помісячні зв'язки між показником β_x та пороговим значенням, яке характеризує гідрологічну посуху. Таким порогом може бути добова витрата води забезпеченістю 95%. Установлені тісні зв'язки між тривалістю періоду, коли витрати в створі р.Савранка-с.Осички були меншими за $Q_{95\%}$, та індексами β_x за попередній місяць (рис.1). Подібні залежності можуть бути використані при розрахунках та прогнозах гідрологічної посухи на основі метеорологічних даних, наведених в сценаріях глобального потепління.

Розрахунки індексів SPEI проводилися за допомогою електронного ресурсу для метеостанцій Одеса та Любашівка, з використанням даних про середні місячні температури повітря, середні місячні суми опадів та відомостей про географічні координати. За установленими індексами SPEI приймалося рішення про категорію посухи (табл.1).

У хронологічному ході значень індексів SPEI (рис. 2) за період 1962 - 2011 рр. було зареєстровано 22 випадки посух різної тривалості. Повторюваність екстремальних посух ($SPEI \leq -2.00$) становить 2%, інтенсивних посух ($-1.50 \geq SPEI \geq -1.99$) – 6%, помірних посух ($-1.00 \geq SPEI \geq -1.49$) – 13%. Найбільш довго посуха тривала на початку 90-х років минулого сторіччя на узбережжі (рис.2), проте на метеостанції Любашівка, розташованій на північному заході досліджуваної території, метеорологічні посухи переривалися помірно вологими періодами та періодами близькими до нормального зволоження (рис.3).

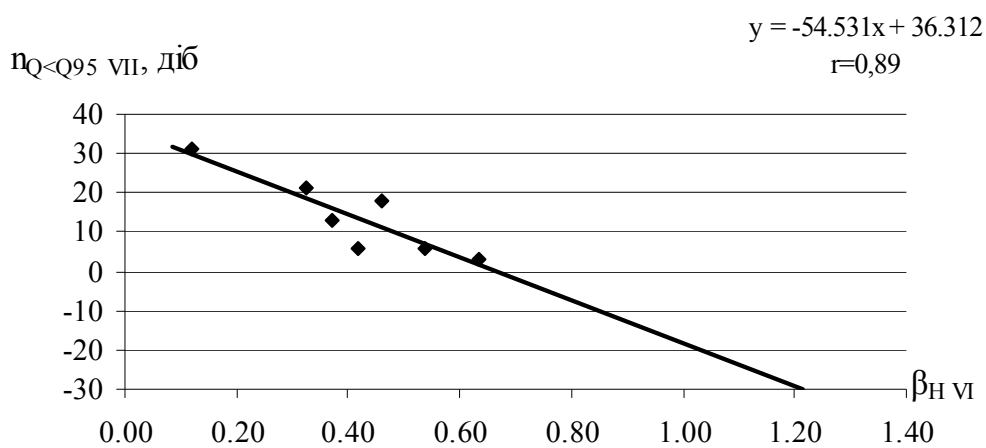


Рис. 1. Графік залежності числа днів, коли $Q < Q_{95\%}$ у липні від коефіцієнта зволоження β_x у червні, р.Савранка – с.Осички

Таблиця 1.

Класифікація значень SPEI

Значення SPEI	Категорія періоду	Категорія посухи
$SPEI \geq 2.00$	Вкрай вологий	
$1.50 \leq SPEI \leq 1.99$	Дуже вологий	
$1.00 \leq SPEI \leq 1.49$	Помірно вологий	
$0 \leq SPEI \leq 0.99$	Близький до нормального	
$0 \geq SPEI \geq -0.99$	Близький до нормального	Слабка посуха
$-1.00 \geq SPEI \geq -1.49$	Помірно сухий	Помірна посуха
$-1.50 \geq SPEI \geq -1.99$	Дуже сухий	Інтенсивна посуха
$SPEI \leq -2.00$	Вкрай сухий	Екстремальна посуха

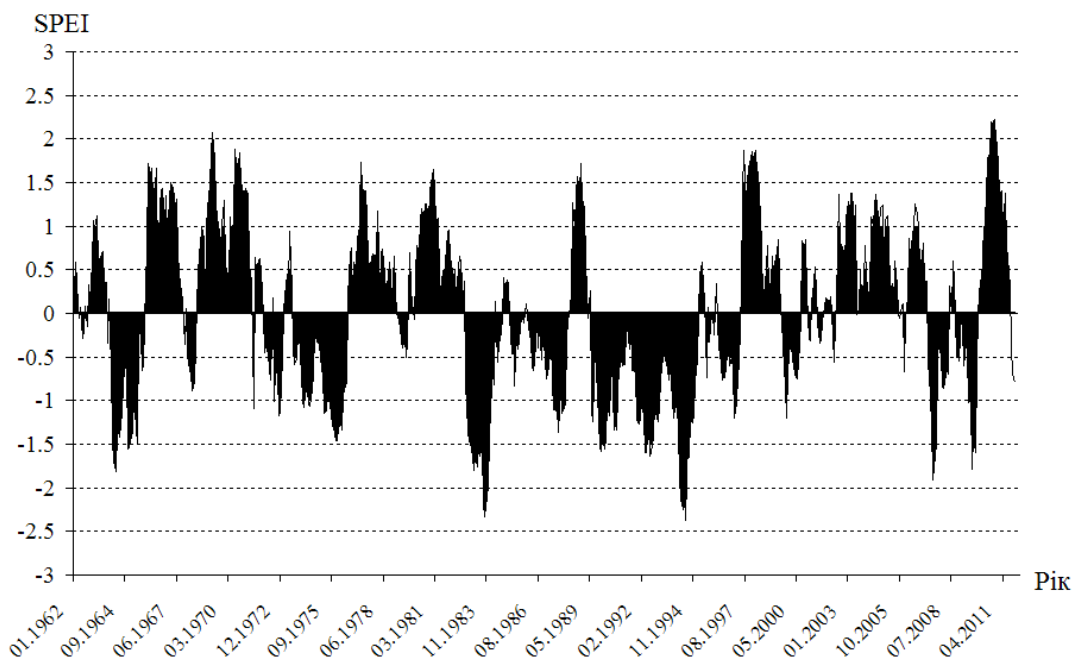


Рис. 2. Хронологічний хід місячних індексів посушливості SPEI, м. Одеса, 1962-2011 рр.

На базі даних за минулі роки були оцінені зв'язки між місячними значеннями індексів SPEI та середніми місячними витратами води (табл. 2). Статистично значущі коефіцієнти кореляції установлені лише для осінніх місяців та грудня (сезон зима).

Для вирішення задач прогнозування гідрологічних посух бажано мати вихідні дані із певною завчасністю. З таблиці 2 видно, що індекси SPEI попередніх місяців можна використовувати при побудові прогнозних регресійних залежностей або дискримінантних функцій. Проте, при зсуві на 1 місяць коефіцієнти кореляції між середніми місячними витратами та місячними значеннями SPEI зменшуються. Це свідчить про необхідність оперувати даними для більш коротких інтервалів часу – декад та тижнів.

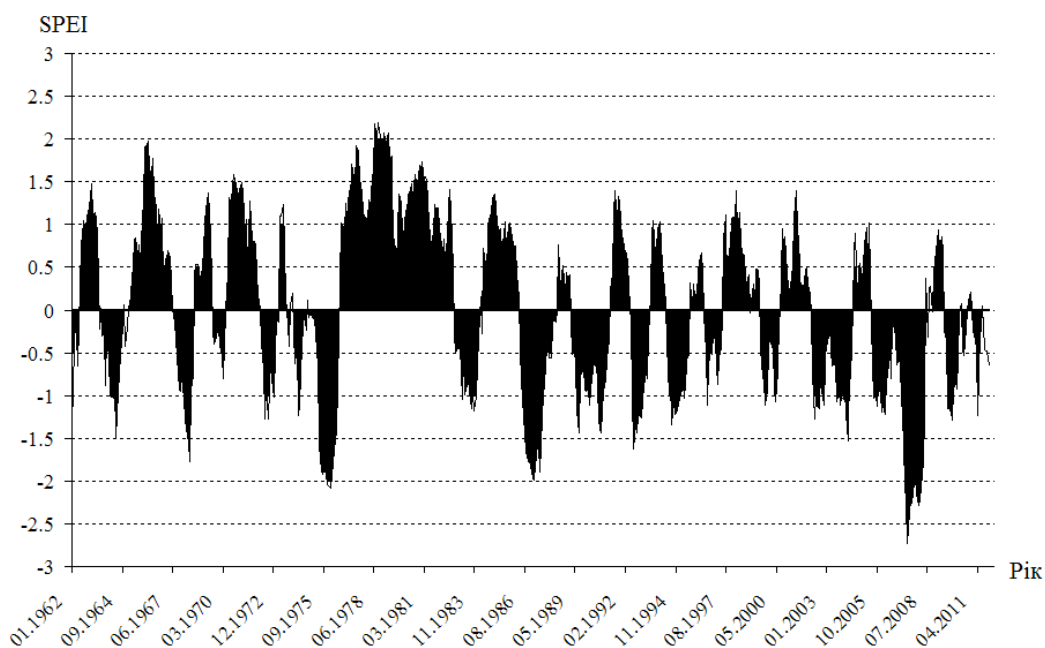


Рис. 3. Хронологічний хід місячних індексів посушливості SPEI, м. Любашівка, 1962-2011 рр.

Таблиця 2.
Коефіцієнти кореляції r в залежностях $Q=f(\text{SPEI})$ по місяцях, р. Тилігул – с. Новоукраїнка, 1962-1987 рр.

$\text{SPEI}_{\text{міс}}$	$Q_{\text{міс}}$	$Q_{\text{ІХ}}$	$Q_{\text{Х}}$	$Q_{\text{ХІ}}$	$Q_{\text{ХІІ}}$
$\text{SPEI}_{\text{VІІІ}}$		0,18	0,21	0,26	0,08
$\text{SPEI}_{\text{ІХ}}$		0,54	0,41	0,28	0,28
$\text{SPEI}_{\text{Х}}$			0,47	0,38	0,29
$\text{SPEI}_{\text{ХІ}}$				0,41	0,37
$\text{SPEI}_{\text{ХІІ}}$					0,37

Зв'язки індексів SPEI із мінімальними добовими витратами у межах кожного місяця виявилися більш тісними, ніж при використанні середніх місячних витрат (табл.3).

Таблиця 3.
Коефіцієнти кореляції r , які характеризують тісноту лінійних зв'язків між мінімальною добовою витратою $Q_{\text{мін, доб}}$ та індексом залежностях SPEI по місяцях, р.Тилігул – с. Новоукраїнка, 1962-1987 рр.

$\text{SPEI}_{\text{міс}}$	$Q_{\text{мін, доб, м}^3/\text{с}}$	$Q_{\text{VІІ}}$	$Q_{\text{VІІІ}}$	$Q_{\text{ІХ}}$	$Q_{\text{Х}}$	$Q_{\text{ХІ}}$	$Q_{\text{ХІІ}}$
$\text{SPEI}_{\text{VІІ}}$		0,50	0,49	0,50	0,18	0,17	0,29
$\text{SPEI}_{\text{VІІІ}}$			0,51	0,56	0,28	0,28	0,31
$\text{SPEI}_{\text{ІХ}}$				0,58	0,48	0,35	0,35
$\text{SPEI}_{\text{Х}}$					0,50	0,45	0,40
$\text{SPEI}_{\text{ХІ}}$						0,45	0,39
$\text{SPEI}_{\text{ХІІ}}$							0,40

Установлені зв'язки між показниками метеорологічних і гідрологічних посух відкривають можливості для прогнозу гідрологічних посух на основі індексів метеорологічної посухи, розрахованих за сценаріями глобального потепління.

Для передбачення можливостей формування посух у майбутньому нами був розглянутий сценарій змін глобального клімату М10. Обраний сценарій належить сценарній родині А1, яка розбита на три групи. Група А1В передбачає використання різних видів палива, як викопного, так і не викопного. Сценарна родина А1 містить опис майбутнього світу, що характеризується швидким економічним ростом, глобальним населенням, показники якого сягають пікових значень у середині сторіччя з подальшим зменшенням, а також швидким упровадженням нових та ефективніших технологій. Першорядними питаннями будуть поступове зближення різних регіонів, створення потенціалу для активізації культурних і соціальних взаємозв'язків та значного зменшення регіональних відмінностей у

доході на душу населення. Сценарій зміни клімату A1B реалізований в регіональній кліматичній моделі REMO, яка розроблена в Інституті метеорології ім. Макса Планка в Гамбурзі. REMO об'єднує колишню чисельну модель прогнозу погоди EUROPA-MODELL для розрахунків термодинамічних характеристик і блоку глобальної кліматичної моделі ECHAM4 [20]. У межах сценарію A1B було розроблено декілька різних сценаріїв M1-M15, кожний із своїми особливостями. Сценарій M10 був обраний із числа 15 запропонованих, як такий, що дав найбільш задовільний збіг розрахункових і фактичних значень метеорологічних характеристик (середньомісячної температури повітря та опадів) для періоду 1998-2007 рр.

Аналізуючи хронологічний хід β_x по роках можна зробити висновок, що у період 1971-2000 рр. посушливі роки чергувалися із роками достатнього зволоження (рис. 4), у той час як у період 2071-2098 рр. практично на всьому інтервалі будуть спостерігатися посушливі роки з $\beta_x < 0,5$ (рис. 5).

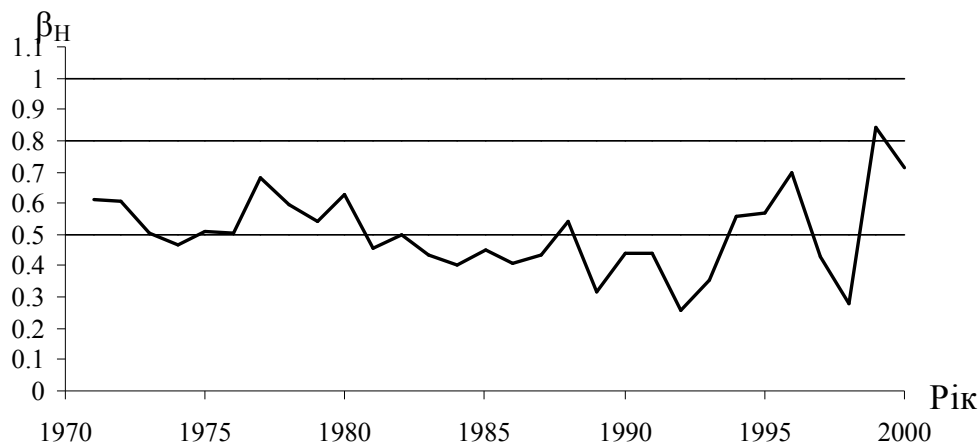


Рис. 4. Хронологічний хід індекса β_x , басейн р.Тилігул, 1971-2000 рр.

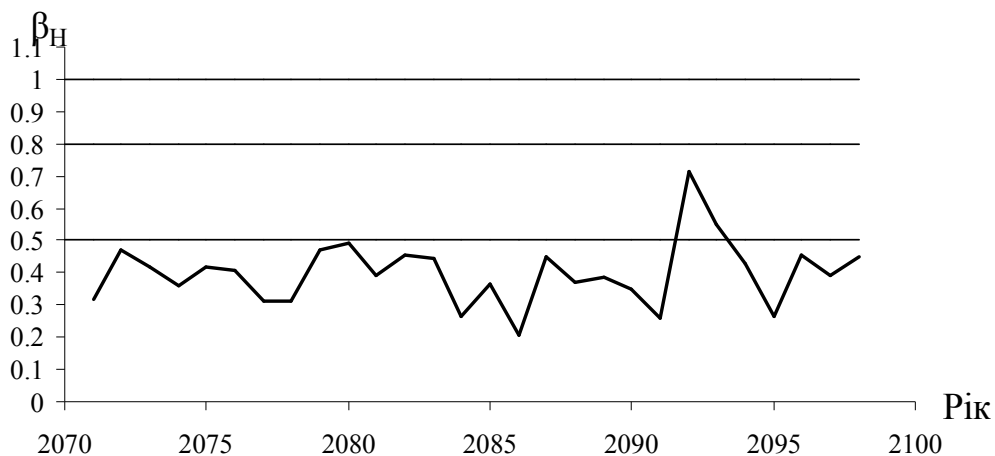


Рис. 5. Хронологічний хід індекса β_x , басейн р.Тилігул, 2071-2098 рр.

Використання індексів SPEI для сценарію глобального потепління A1B (рис. 6) на період 2012-2025 рр. показав, що повторюваність вкрай сухих періодів (екстремальних посух), в порівнянні з рядом спостережень 1961-2010 рр., майже не зміниться, дуже сухих періодів (інтенсивних посух) – збільшиться до 10-11% [2].

Висновки

Сучасні дані сценаріїв глобального потепління дозволяють досить детально оцінювати зміни метеорологічних характеристик в різних точках земної поверхні і оцінювати можливість появи посух різних категорій у межах водозборів річок. Показано, що за розрахованими індексами посушливості клімату на основі отриманих по даним минулих років зв'язків можна визначити окремі характеристики низького стоку, які відображають ступінь гідрологічної посухи. Проте, на річках, що пересихають як внаслідок кліматичних умов, так і антропогенної діяльності, необхідно розробляти прогностичні залежності, які враховують як метеорологічні зміни, так і вплив місцевих чинників.

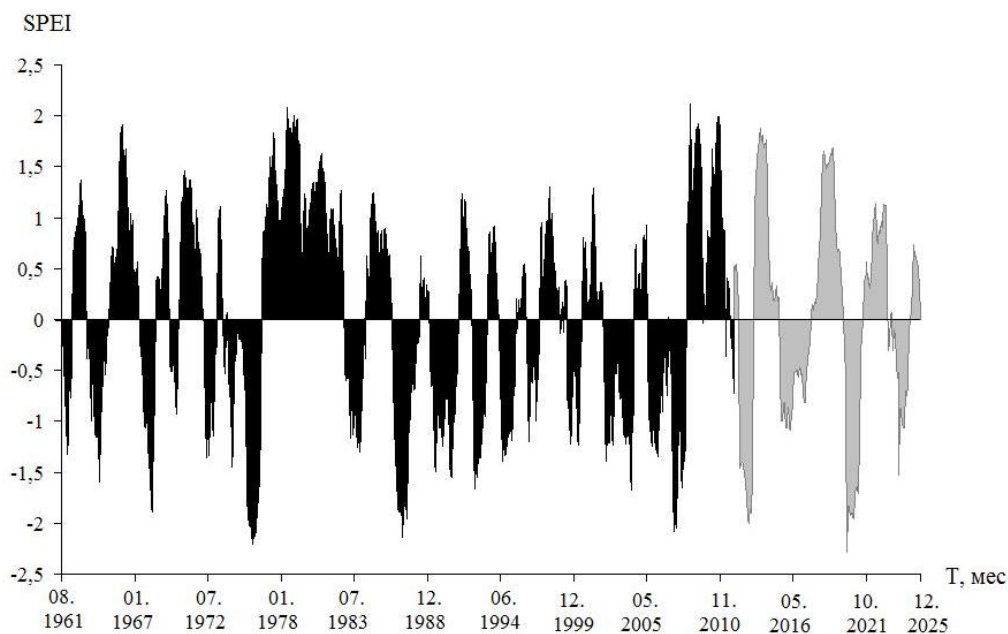


Рис. 6. Хронологічний хід індекса SPEI, басейн р.Тилігул, 1961-2011р. та 2012-2025 рр. (за сценарієм А1В)

Література

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья // под ред. Ю. С. Тучковенко, Е. Д. Гопченко). - Одесса:ТЭС,2012.-223с.
2. Божок Ю. В. Посушливість клімату на території Тилігульського лиману у сучасних умовах та за сценарієм глобальної зміни клімату / Ю. В. Божок // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення". – Одеса: ОДЕКУ, 2012. – С. 75-77
3. Божок Ю. В. Вплив посушливості клімату на стік річок Карпатського регіону в сучасних та майбутніх умовах / Ю. В. Божок, Н. С. Лобода // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону (проблеми охорони та раціонального використання)». – Львів: ЛвДЦНП, 2013. – С.193-196
4. Гопченко Е. Д. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Е. Д. Гопченко, Н. С. Лобода. – Киев: КНТ, 2005. – 188 с.
5. Родда Дж. К. Грани гидрологии: Монография / Дж. К. Родда. – Л. :Гидрометеиздат, Т.2. -1987. – 534 с.
6. Єрмоленко Н.С. Порівняння просторово-часових характеристик посух в Україні на початку та наприкінці ХХ сторіччя / Н.С. Єрмоленко, В. М. Хохлов // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 10. – С. 65-72.
7. Лобода Н. С. Закономірності коливань річного стоку річок України при змінах клімату на початку ХХІ сторіччя / Н. С. Лобода // Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія. Відповідальний редактор Хільчевський В.К. – К. ВГЛ "Обрії", Т.18,2010. – С. 62-70 .
8. Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния / Лобода Н. С. – Одесса: Экология.- 2005. – 208 с.
9. Лобода Н. С. Засушливость климата и минимальный сток рек Украины / Н. С. Лобода, Ю. В. Божок // Материалы международной конференции молодых ученых и аспирантов «Первые Виноградовские чтения. Будущее гидрологии». - Санкт-Петербург:«Арт-Экспресс», 2013 г. – С. 70-71
10. Мезенцев В. С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В. С. Мезенцев, И. В. Карнацевич. - Л. : Гидрометеиздат,1969. – С. 75
11. Международный гидрологический словарь. - 2-е изд. - Женева: ВМО, 1992. - 414 с.
12. Рази Т. Мониторинг засухи с использованием показателя SPI в провинции Ядз, Иран / Т. Рази, Б. Сагафьян, А. Шокухи // Публикации Тренингового центра МКВК. – Ташкент, в.12. 2005. – С. 27-37.
13. Торнтвейт С. В. Об индексе влажности / С. В. Торнтвейт // Синэкология. – Тегеран:Изд-во университета, 1976. – С. 55–94.
14. Хохлов В. М. Просторово-часова мінливість посух в Східноєвропейському секторі в умовах глобальних змін клімату / В. М. Хохлов, Н. С. Єрмоленко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 11. – С. 128-134.
15. Хромов С. П. Метеорологический словарь. – 3-е издание / С. П. Хромов, Л. И. Мамонтова. – Л.:Гидрометеиздат,1974. – 568 с.
16. Abramowitz M. Handbook of Mathematical Functions/ M. Abramowitz, I. A. Stegun. – Dover Publications, New York. – 1965.
17. Dracup, J. A. On the definition of droughts / J. A. Dracup, K. S. Lee, E. G. Jr. Paulson // Water Resour.Res. – 1980, 16(2). – P.297-302

18. Feyen L. Impact of global warming on streamflow drought in Europe / L. Feyen, R. Dankers. – J Geophys Res. 2009. – V.114, D17116, 17 p.
19. Hisdal H. Drought event definition / H.Hisdal, L.M. Tallaksen. – Oslo, 2002. (Techn. Rep. to the ARIDE Project; N 6.
20. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate / E. Roeckner, K. Arpe L. Bengtsson, et al // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report. – 1996. – No.218.
21. Sattar Chavoshi Borujeni. Development of L-moment based models for extreme flood events // Malaysian journal of mathematical sciences. – 2009, 3 (2). – P. 281-296
22. Sergio M. Vicente-Serrano A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index / Sergio M. Vicente-Serrano, Santiago Begueri'A, Juan I. Lo'Pez-Moreno. // Journal of climate. – 2009. – P.23
23. UNESCO, Map of the world distribution of arid regions. MAB Technical Note no 7. – 1979.
24. Yevjevich V. An objective approach to definition and investigations of continental hydrological drought. Fort Collins, 1967 (Hydrol. Pap. Colorado State Unit.; N 23) / V. Yevjevich, J. A. Dracup, K. S. Lee, E. G. Paulson. – On the statistical characteristics of drought events // Water Resources Research. – 1980. – Vol. 16, Iss. 2. – P. 289–296.

Аннотация Н. С. Лобода, Ю. В. Божок **Пути определения возможной гидрологической засухи по метеорологическим данным в условиях изменений климата для рек северо-западного Причерноморья.** Описаны подходы к расчётам показателей метеорологических и гидрологических засух на основе данных климатических сценариев глобального потепления. Для определения характеристик метеорологических засух выбраны индексы засушливости, для гидрологических засух – показатели низкого стока.

Ключевые слова: метеорологические и гидрологические засухи, количественные показатели засух, сценарии глобального потепления.

Abstract. N. S. Loboda, Y. V.Bozhok **Ways of determination of probable hydrological drought using meteorological data in conditions of climate change for rivers of the north-western part of the Black Sea.** The approaches for calculation of indicators of meteorological and hydrological droughts based on climate scenarios of global warming were described. For identification of characteristics of meteorological droughts aridity indices were chosen, for characterizing of hydrological drought low flow indicators were selected.

Keywords: meteorological and hydrological droughts, quantitative indicators of droughts, global warming scenarios.

Поступила в редакцию 31.01.2014 г.