

## **ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА МІНЛИВІСТЬ ПОСУХ В СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОМУ СЕКТОРІ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЗМІН КЛІМАТУ**

*Вивчається просторово-часова мінливість різних категорій посух, виявлених за допомогою стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування з масштабами часу 1, 3, 6, 12, 24 місяці для території східної Європи протягом 1951–1980 та 1981–2010 рр. Встановлено, що максимальна кількість посух фіксувалась в період глобального потепління, тобто протягом 1981–2010 рр.*

**Ключові слова:** просторово-часові характеристики, стандартизований індекс опадів та сумарного випаровування, максимальна кількість посух.

**Вступ.** В останні десятиріччя в умовах сучасних змін клімату кількість посушливих явищ, їх тривалість та інтенсивність невідомо росте. Проблема посушливості стоїть дуже гостро в багатьох країнах світу. Посуха – це дуже складне явище, обумовлене довгим і значним недоліком опадів при підвищеній температурі повітря, внаслідок чого вичерпуються запаси вологи в ґрунті за рахунок випаровування і транспірації. Це стихійне лихо, яке може тривати від декількох тижнів до декількох місяців чи навіть років, завдаючи значної шкоди народному господарству різних країн.

**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], потепління кліматичної системи являється беззаперечним фактом, що доводять спостереження за підвищенням глобальної середньої температури повітря й океану. В середньому по всій земній кулі потепління в 20 сторіччі відбувалося в двох фазах – у 1910–1940-х роках (0,35 °C), і більш сильно, починаючи з кінця 1970-их до теперішнього часу (0,55 °C), а одинадцять з дванадцяти останніх років потрапили в число дванадцяти найбільш теплих років за всю історію інструментальних спостережень (з 1850 року). Таким чином, слід зазначити, що між двома піками потепління в 20 сторіччі спостерігався період спаду середньої температури повітря, або так званий період похолодання, що тривав приблизно з 1950–1980 рр. (рис. 1).

Емпіричні дослідження показали, що збільшення температури повітря головним чином впливає на зростання загальної кількості посух, їх інтенсивність, тривалість та суворість. Так, в роботі [1] зазначено, що автори використовували експериментальну модель загальної циркуляції атмосфери для того, щоб показати, що випаровування і транспірація може споживати до 80% всіх опадів. Крім того, вони виявили, що ефективність висихання в результаті температурних аномалій настільки ж висока, як і в результаті загального дефіциту опадів. Але все ж таки варто зауважити, що умови виникнення посух у великій мірі залежать не лише від змін температурного фону, але й від режиму зволоження того чи іншого регіону. 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) [7].

Головною метою даної роботи є не лише вивчення просторово-часового розподілу різних характеристик посух, а й дослідження особливостей поведінки цих характеристик в періоди глобального похолодання та потепління.

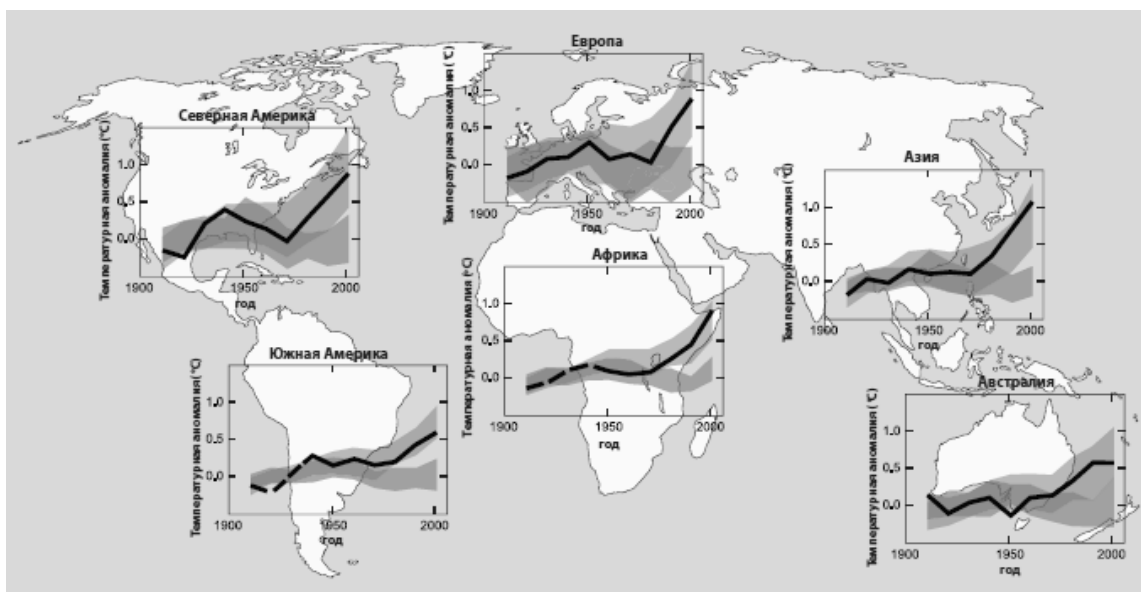


Рис. 1 – Розподіл аномалії глобальної температури по всій земній кулі протягом 20 сторіччя [2].

**Матеріали та методи дослідження.** Для визначення просторово-часової мінливості посух в умовах глобальних змін клімату використовувався багатомасштабний індекс посухи – стандартизований індекс посухи та сумарного випаровування. Індекс SPEI розрахований за даними про температуру повітря та опади з кроком сітки  $0,5^\circ$  для усієї земної кулі та 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 [6], 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 [5].

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.

Для даної роботи розраховані індекси посухи SPEI для двох тридцятирічних періодів – 1951–1980 рр. та 1981–2010 рр., що відповідають періодам похолодання та потепління, з масштабами часу 1, 3, 6, 12, 24 місяці. Дослідження проводились у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами  $40,25^\circ$  та  $59,75^\circ$  півн.ш. і довготами  $15,25^\circ$  та  $44,75^\circ$  сх.д., що включають територію східної Європи, в тому числі й Україну. Для

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

обчислення стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування використовувалась база даних середньомісячної глобальної температури повітря та опадів з кроком сітки  $0,5^\circ$  з 1948 року по теперішній час, яка нещодавно розроблена в Національному центрі з прогнозування клімату. Але значення температури цієї бази дещо відрізняються від величин, отриманих з наземних станцій, оскільки набір даних Національного центру з прогнозування клімату використовує комбінацію з двох окремих великих баз даних – Глобальної історичної кліматологічної мережі (GHCN) та Системи моніторингу аномалії клімату (CAMS) [3, 4]. Таким чином, цей набір даних може регулярно оновлюватись в режимі реального часу, враховуючи показники великої кількості станцій, тому це й стало основною причиною використання саме цієї бази в даному дослідженні.

**Основні результати.** За результатами обчислення стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування підрахована загальна кількість посух ( $SPEI \leq -1,0$ ), кількість помірних, інтенсивних та екстремальних посух для масштабів часу 1, 3, 6, 12, 24 місяці окремо для кожного тридцятирічного періоду.

Для прикладу розглянемо просторово-часовий розподіл загальної кількості посух з масштабом часу 1 місяць. На рис.2 представлені поля розподілу стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування з масштабом часу 1 місяць для 1951–1980 рр. (рис.2а) та 1981–2010 рр.(рис.2б).

З рис.2 видно, що загальна кількість посух має дещо більші показники протягом другого тридцятирічного періоду. Так, в першому випадку максимальна кількість посух складає біля 65 випадків за 30 років, при чому найбільші значення фіксуються на північному заході східноєвропейського сектору, а саме в районі Прибалтики, та поблизу Прикаспійської низовини. Що стосується території України, то найбільша кількість посух (понад 50-55) зареєстрована на сході та південному сході країни, а також у Криму та Чернігівській області. Протягом другого періоду дослідження максимальне число посух вже досягає значень 70 випадків. Також змінились осередки максимумів посух порівняно з попереднім розглянутим періодом, тепер екстремуми фіксуються на південному заході території дослідження, охоплюючи практично весь Балканський півострів. По території України максимум був відзначений в районі Харківської та Сумської області з числом посух біля 65.

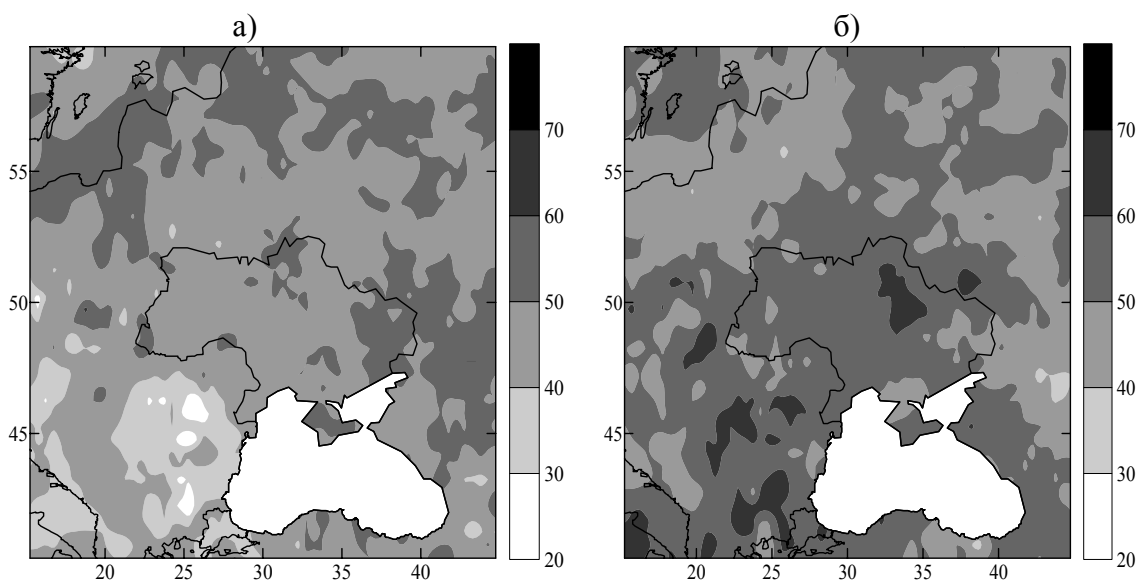


Рис. 2 – Кількість посух ( $SPEI \leq -1$ ) з масштабом часу 1 місяць:  
(а) – з 1951 по 1980 рр.; (б) – з 1981 по 2010 рр.

Розподіл кількості посух для інших масштабів часу подібний тому, що спостерігається для одномісячного масштабу. Так, максимальне число посух з масштабом часу 3 місяці для періоду 1951–1980 рр. складає в середньому 35–40 випадків, а для 1981–2010 рр. – вже збільшується до 40–45 посух, при цьому осередки найбільших значень розташовуються в північно-східній частині України. Подібна ситуація спостерігається і для інших масштабів часу, коли різниця між кількістю посух в перший досліджуваний період та другий складає в середньому 5–10 посух за тридцятиріччя.

Аналіз простово-часової мінливості помірних посух протягом періодів глобального потепління та похолодання також представляє досить цікаві результати. Розподіл помірних посух по простору досліджуваної території практично співпадає з розподілом загальної кількості посух. Максимальне число посух для періоду 1951–1980 рр. відмічається на північному заході східної Європи та в районі Кавказу, а мінімуми зафіксовані поблизу Балканського півострову. Тим часом, в період 1981–2010 рр. спостерігається абсолютно протилежна ситуація, оскільки в даному випадку в районі Балкан вже спостерігаються максимуми кількості помірних посух. Це дуже добре продемонстровано на прикладі розподілу помірних посух для масштабу часу 6 місяців (рис.3). Стосовно максимального числа посух, слід відзначити, що найбільша кількість помірних посух в період потепління значно перевищує максимуми кількості в період похолодання, що ще раз доводить значний вплив підвищення температури на умови виникнення посушливих явищ.

В ході наступного етапу роботи досліджувались вже посухи, що відносяться до категорії інтенсивних. В цьому випадку стандартизований індекс опадів приймає значення від -1,50 до -1,99 включно. Просторово-часова мінливість цього різновиду посух значно не відрізняється від попередніх, що можна простежити на рис. 4, де зображені поля розподілу інтенсивних посух з масштабом часу 12 місяців. Так, в перший досліджуваний період під найбільшим впливом інтенсивних посух опинились території північної та центральної частини східної Європи, а саме райони європейської території Росії (ЄТР), Польщі та Прибалтики. Досить цікавий розподіл в цей період інтенсивні посухи мають по території України, оскільки на більшій її частині реєструється від 15 до 20 інтенсивних посух протягом 30 років. Абсолютні максимуми (понад 20) фіксуються в

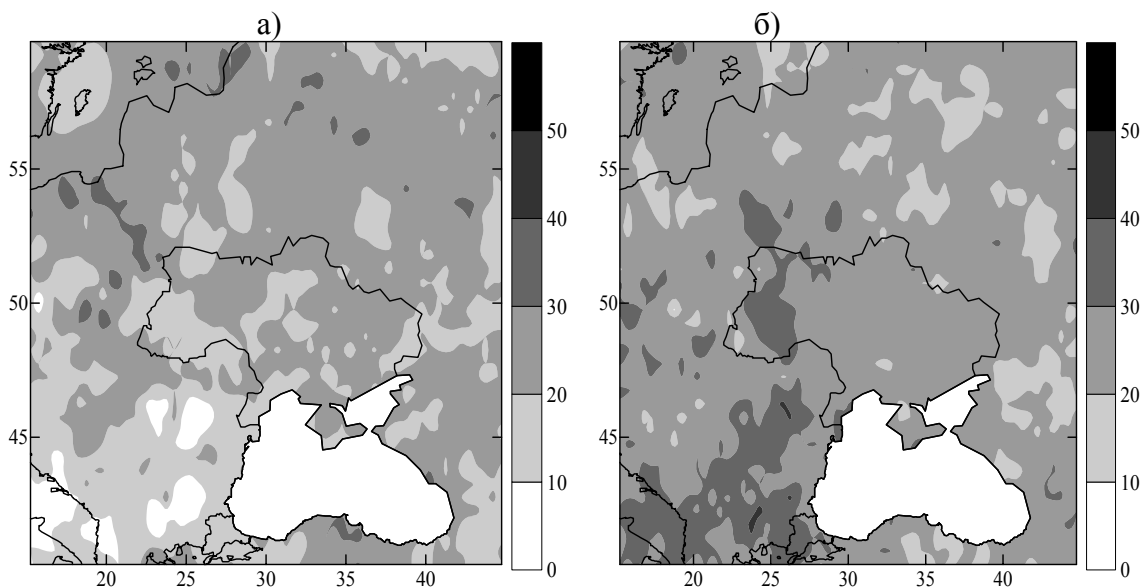


Рис. 3 – Кількість помірних посух з масштабом часу 6 місяців:  
(а) – з 1951 по 1980 рр.; (б) – з 1981 по 2010 рр.

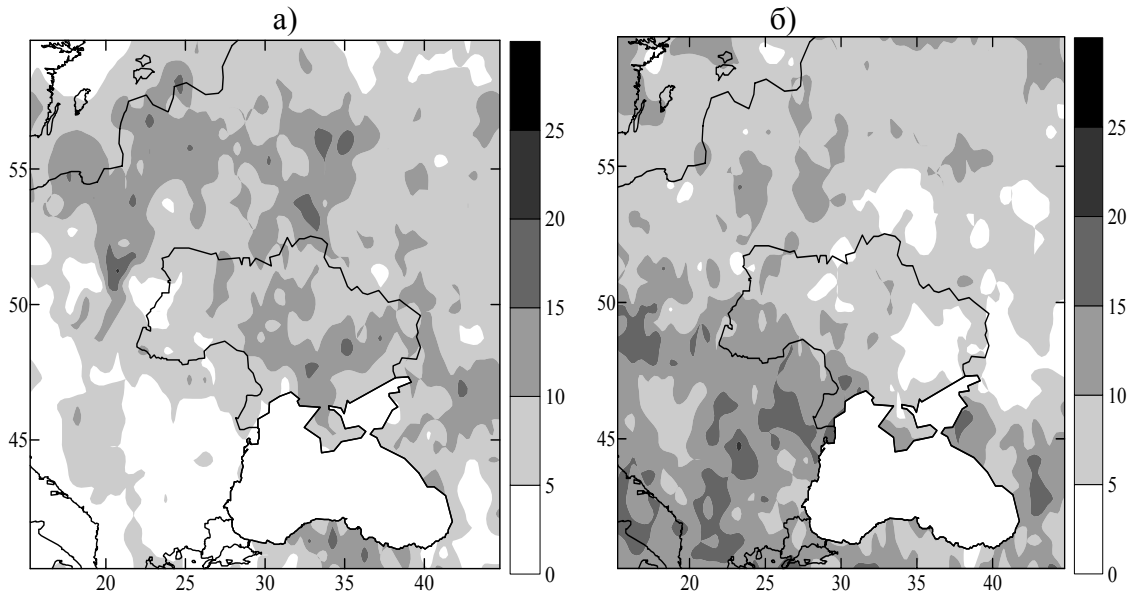


Рис. 4 – Кількість інтенсивних посух з масштабом часу 12 місяців:  
(а) – з 1951 по 1980 рр.; (б) – з 1981 по 2010 рр.

Харківській, Дніпропетровській та Миколаївській областях. Мінімальні ж значення кількості інтенсивних посух відмічаються на південному заході країни. В період 1981–2010 рр. максимальна кількість посух охоплювала території Румунії, Болгарії та Греції, в тому числі під найбільшим впливом інтенсивних посух опинились райони Закарпатської, Чернівецької, Одеської областей, а також АР Крим. Слід також зазначити, що в цей проміжок часу на території східної України інтенсивних посух практично не фіксувалось, або їх кількість була незначною. Стосовно інших масштабів часу, то і для них ця категорія має аналогічне поширення, а найбільша кількість інтенсивних (біля 50) посух була зафіксована для масштабу часу 1 місяць.

Особливий практичний інтерес для всіх вчених представляє дослідження посух, що відносяться до категорії екстремальних, оскільки саме цей різновид являється найбільш небезпечним для всіх галузей народного господарства і потребує детального вивчення кожної екстремальної посухи окремо, так як кількість посух цієї категорії в декілька разів менше ніж інших. В даному випадку просторово-часова мінливість екстремальних посух для масштабу часу 3 місяці представлена на рис.5. З рисунка чітко видно, що розподіл екстремальних посух практично подібний розподілу інших різновидів посух як для 1951–1980 рр., так і для 1981–2010 рр. Очевидно, що в перший досліджуваний період екстремальні посухи в своїй більшості розташовувались в районі півночі та північного сходу східноєвропейського сектору з максимум в центральній частині ЄТР. А територією України екстремальні посухи поширювались з північного сходу на південний захід країни. В період глобального потепління, тобто 1981–2010 рр., екстремальні посухи з максимальною кількістю понад 15 випадків за 30 років також були зафіксовані на заході та південному заході території, що розглядається. Осередки максимальної кількості екстремальних посух були зосереджені в районі Чернівецької, Одеської та Миколаївської областей. Треба також зазначити, що практично для всіх масштабів часу максимальна кількість екстремальних посух має практично однакові значення, це – 9-12 – для першого досліджуваного періоду та 12-15 – для другого.

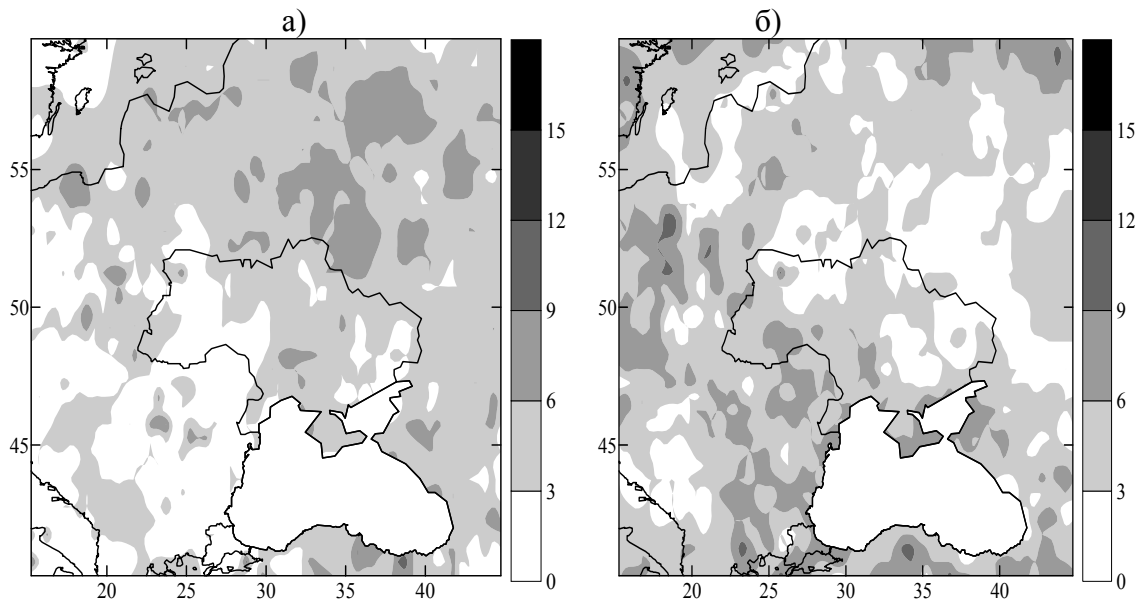


Рис. 5 – Кількість екстремальних посух з масштабом часу 3 місяці:  
(а) – з 1951 по 1980 рр.; (б) – з 1981 по 2010 рр.

**Висновки.** В ході дослідження просторово-часової мінливості різних категорій посух в періоди глобального похолодання та потепління виявлено, що максимальна кількість загального числа посух та посух, що відповідають критеріям помірних, інтенсивних та екстремальних, зафіксована протягом проміжку часу 1980–2010 рр., коли мало місце досить інтенсивне підвищення глобальної температури повітря по всій земній кулі. Аналіз просторового розподілу по території дослідження показує, що в період 1951–1980 посухи в основному формувались на північному заході східної Європи, а протягом 1981–2010 вже в районі південного заходу східноєвропейського сектору. Для території України осередки максимальних значень в першому випадку зосереджені в північно-східних областях країни (Харківській, Чернігівській, Сумській), а в другому – південних та південно-західних, а саме Чернівецькій, Одеській та Миколаївській областях. Таким чином, даний аналіз підтверджує припущення про збільшення кількості посушливих явищ протягом останніх десятиріч внаслідок зміни глобального температурного режиму.

### Список літератури

1. *Abramopoulos F., C. Rosenzweig, and B. Choudhury.* Improved ground hydrology calculations for global climate models (GCMs): Soil water movement and evapotranspiration // *Journal of Climate.* – 1988. – Vol. 1. – P. 921–941.
2. *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.
3. *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.

4. 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.

5. 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.

6. 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. – L03401.

7. 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.

**Пространственно-временная изменчивость засух в восточноевропейском секторе в условиях глобальных изменений климата. Хохлов В.Н., Ермоленко Н.С.**

*Изучается пространственно-временная изменчивость разных категорий засух, определенных с помощью стандартизованного индекса осадков и суммарного испарения с масштабами времени 1, 3, 6, 12, 24 месяца для территории восточной Европы в течение 1951-1980 и 1981-2010 гг. Выявлено, что максимальное количество засух фиксировалась в период глобального потепления, то есть в течение 1981-2010 гг.*

**Ключевые слова:** пространственно-временные характеристики, стандартизованный индекс осадков и суммарного испарения, максимальное количество засух.

**Spatiotemporal variability of drought in the East Europe in the context of global climate change. Khokhlov V.N., Yermolenko N. S.**

*We study the spatiotemporal variability of different droughts using the standardized precipitation evapotranspiration index with time scales 1, 3, 6, 12 and 24 months for the territory of Eastern Europe during 1951-1980 and 1981-2010. It was found that the maximum number of droughts was registered in the period of global warming, i.e. during 1981-2010 years.*

**Keywords:** spatiotemporal features, standardized precipitation evapotranspiration index, maximum number of droughts