УДК 551.582/.583.16

В.М. Хохлов, *д.геогр.н.*, **В.М. Бондаренко**, *к.геогр.н.*, **Л.Г. Латиш**
Одеський державний екологічний університет

ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ АНОМАЛІЙ ОПАДІВ В УКРАЇНІ У 2011-2025 РОКАХ

Зміни режиму опадів в Україні для періоду 2011-2025 років аналізуються для деяких сценаріїв СДСВ за даними моделювання. Виконується аналіз аномалій розподілу опадів протягом окремих сезонів та року в цілому. Показується, що найбільших змін режим опадів зазнає для «помірного» сценарію A1B, а для «м'якого» сценарію B1 розподіл змін опадів в Україні буде найнезначнішим.
Ключові слова: *режим опадів, майбутні зміни клімату, комплексний показник.*

1. Вступ

Протягом останніх декількох десятиріч у часово-просторових розподілах багатьох метеорологічних величин та гідрометеорологічних параметрів простежуються істотні варіації, які переважна більшість вчених на сьогодні вважають проявом змін клімату [1]. Незважаючи на те, що найяскравіше вони простежуються для часового ряду середньої глобальної температури, в останні роки багато уваги приділяється також і зміні режиму опадів над різними регіонами земної кулі. Цікавим є той факт, що в регіонах, які розташовані близько один до іншого і характеризуються майже однаковим температурним трендом в останні десятиріччя, зміни у режимі опадів не завжди співпадають, а в деяких випадках, навіть, істотно відрізняються [1]. Інакше кажучи, регіональні особливості змін клімату можуть проявитися як у температурному тренді, так й у тренді опадів. Саме тому аналіз поточних або майбутніх змін клімату на першому етапі має здійснюватися окремо для зазначених вище величин.

Якщо аналізуються майбутні зміни різноманітних характеристик клімату над конкретним регіоном земної кулі, доцільно використати результати моделювання, які були одержані у безпрецедентному за своїми масштабами та кількістю учасників модельному проекті: дослідниками з 11 країн було виконано чисельні інтегрування з 23 складними фізико-математичними моделями загальної циркуляції атмосфери і океану (див. [1]). Під час експерименту розраховувався клімат 20 століття при заданих, відповідних до спостережень, концентраціях парникових газів, а також майбутній клімат для трьох сценаріїв. Все це дозволило докладніше вивчити різноманітні поточні та майбутні характеристики кліматичної системи.

Згадані у попередньому параграфі сценарії докладно розглядаються у Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ) і в них розглядаються альтернативні шляхи розвитку, що охоплюють широкий діапазон демографічних, економічних та технологічних визначальних факторів і підсумкових викидів парникових газів [2]. Саме останні й є тим чинником, який у спричиняє зміни модельного клімату у 21 сторіччі. Відзначимо, що проекції викидів часто застосовуються в оцінках майбутніх змін клімату, а припущення щодо соціально-економічних, демографічних та технологічних змін, на яких вони ґрунтуються, використовувалися як вихідні дані для багатьох здійснених оцінок уразливості до змін клімату та їх наслідків [1].

Дуже стисло охарактеризувати сюжетні лінії можна наступним чином. Сюжетна лінія A1 характеризується світом з дуже швидким економічним розвитком, світовим населенням, кількість якого досягає максимуму у середині 21 століття, швидким впровадженням нових та більш ефективних технологій. Лінія A1 поділяється на три групи, які описують альтернативні напрямки технологічного прогресу: інтенсивне

використання викопних видів палива (A1FI), енергетичні ресурси без викопних видів палива (A1T) та баланс за усіма джерелами (A1B). Лінія B1 описує конвергентний світ з тим же світовим народонаселенням, що й у A1, але з більш швидкими змінами в економічних структурах у напрямку сфер обслуговування та інформаційних технологій. B2 характеризується світом з проміжним народонаселенням та економічним зростанням, в якому наголос робиться на локальних рішеннях проблем економічної, соціальної та екологічної стійкості. A2 описує дуже неоднорідний світ зі швидким економічним розвитком, але повільним технологічним прогресом. Треба відзначити, що сценарії СДСВ не характеризувалися будь-якої ймовірністю [2].

Треба відзначити, що протягом багатьох років кліматичні характеристики України взагалі і опади зокрема аналізувалися стосовно змін, що вже відбулися (див., напр., [3-5]), а майбутні зміни, яких має зазнати клімат, майже зовсім не розглядалися. Тому, на тлі процесів, які відбуваються у глобальній кліматичній системі, виникає нагальна потреба оцінити у комплексі аномальність майбутнього режиму опадів та визначити найуразливіші з точки зору змін клімату на найближчі роки регіони України. Саме це й є метою цієї наукової статті. Відзначимо також, що ця стаття є продовженням досліджень, виконаних раніше у попередній роботі авторів [6].

2. Дані та методологія

Більшість сучасних моделей загальної циркуляції атмосфери і океану дозволяють розглянути не тільки зміни глобального клімату, а й, певною мірою, оцінити його регіональні аспекти. Наприклад, розділення останньої версії моделі Лабораторії геофізичної гідродинаміки становить 2° широти × 2,5° довготи [7], тобто дозволяє достатньо докладно вивчити регіональні особливості майбутніх змін різноманітних кліматичних характеристик над територією, яку можна зіставити з Україною. Отже, результатами інтегрування цієї моделі є численні тривимірні масиви гідрометеорологічних даних, які й використовуються у цій статті. Серед цих масивів було вибрано тільки один – місячна сума опадів – для періодів 1986-2000 рр. та 2011-2025 рр. та для трьох сценаріїв – «жорсткого» A2, «помірного» A1B і «м'якого» B1 – у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами 43,5° та 53,5° і довготами 21,25° та 41,25°.

Спочатку порівняємо можливі зміни у кліматичному режимі опадів з минулими даними. На рис. 1 наведені зміни річних сум опадів у 2011-2025 рр. відносно 1986-2000 рр. для трьох зазначених вище сценаріїв. Як можна бачити, зміни режиму опадів за сюжетними лініями A1B і A2 (рис. 1а і 1б) є схожими – майже над усією Україною опади будуть збільшуватися, особливо над південним заходом, а відрізняються одна від іншої тільки тим, що за сценарієм A2 над сходом України буде мати місце невелике зменшення річних сум опадів. Що ж стосується сценарію B1 (рис. 1в), то зміни у режимі опадів можна вважати неістотними (максимум 40 мм на рік, коли у теперішній час їх величина перевищує у середньому 600 мм на рік).

Таким чином, в Україні відбуватимуться достатньо нерівномірні зміни режиму опадів, причому найменш істотними вони будуть за «м'яким» сценарієм B1, коли майже для всієї України річна сума опадів зміниться у середньому не більше ніж на 7 відсотків від сьогоденної. За іншими двома сценаріями найістотніших змін зазнає режим опадів на південному заході України, де річна сума може збільшитися на 10-15 відсотків від тієї, що спостерігається у теперішній час.

Проте, тільки зміни середніх величин не визначають «зміни клімату», тому що треба розглядати також і мінливість метеорологічних величин. У роботі [8] було запропоновано використовувати як комплексний показник індекс зміни клімату, в який входили два показники, що стосувалися температури та опадів. У попередній роботі [5]

на прикладі Європи було показано, що індекс змін клімату можна з успіхом застосувати для оцінки регіональних особливостей.

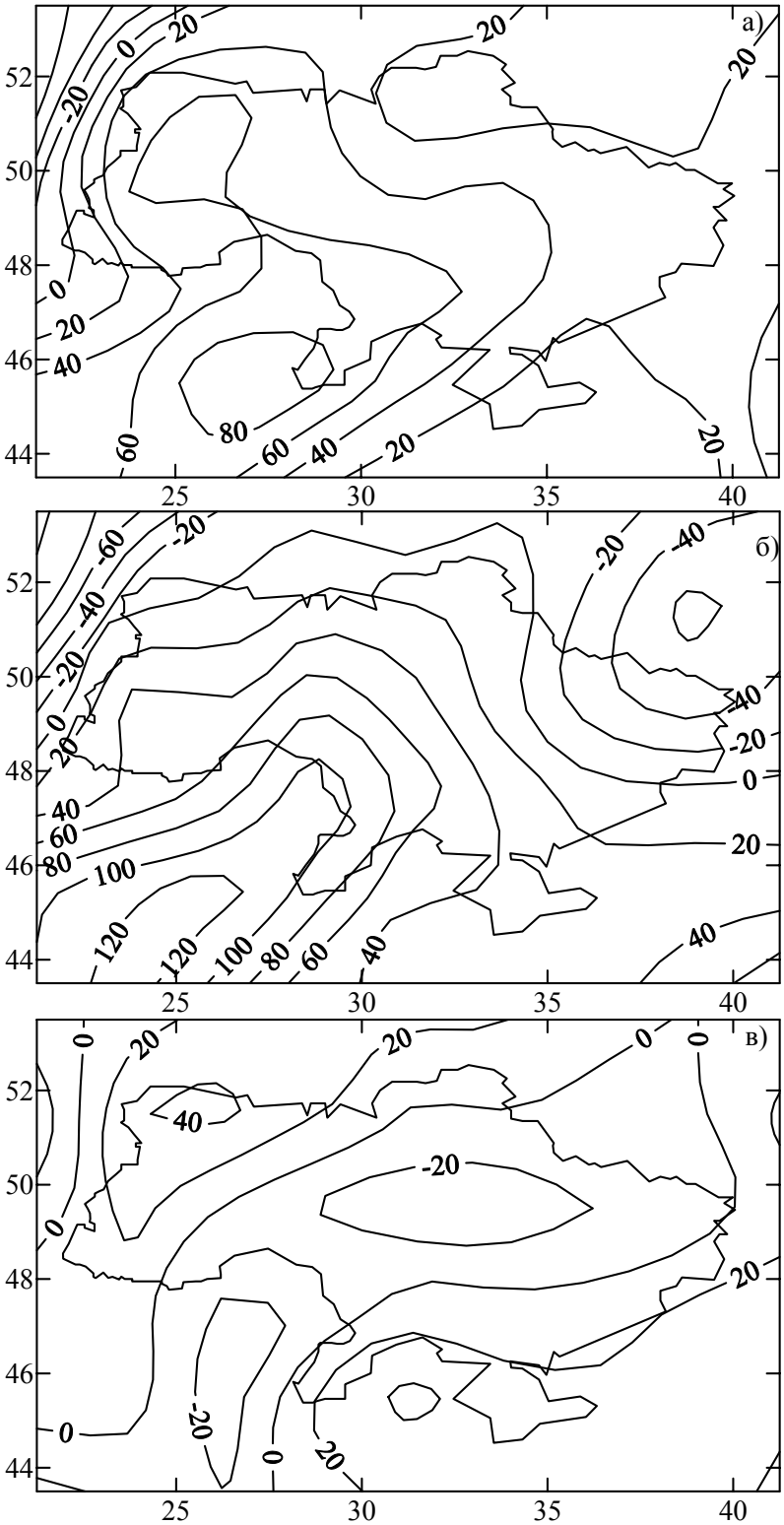

Рис. 1 – Зміни середньої для 2011-2025 рр. річної суми опадів в Україні відносно базового періоду 1986-2000 рр. для сценаріїв A1B (а), A2 (б) і B1 (в).

Тут для визначення у комплексі мінливості опадів над Україною застосуємо запропоновану в [8] концепцію, яка стисло може бути описана наступним чином. Розглянемо індекс (*PI*), що має відношення до мінливості опадів і враховує події, які

можуть мати місце у періоді 2011-2025 рр. після одержання середньорічних та середньосезонних температур (*PI*1 і *PI*2, відповідно)

$$PI = (PI1 + PI2)/2 . \quad (1)$$

Кожний з індексів *PI*1 і *PI*2 подається у вигляді:

$$PI1 = \frac{IDY + IWY}{2}, \quad PI2 = \frac{ICW + IWW + IDS + IWS}{4}. \quad (2)$$

Уведені до формули (2) позначення пояснюються у табл. 1. Таким чином, розрахунок індексу змін опадів є, по суті, обчисленням шести індикаторів у виразі (2), для чого доцільно використати деякі аномальні події, тому що екстремальні зміни режиму опадів можуть істотно впливати на природні та соціальні системи [1]. Через те що, передбачається аномальність подій, індикатори мають розраховуватися у порівняння з характеристиками базового періоду; у нашому випадку 1986-2000 рр.

Таблиця 1 – Індикатори, що підсумовуються в індекс змін опадів

Індикатор	Опис
IDY	Кількість аномально сухих років по відношенню до базового періоду
IWY	Кількість аномально вологих років по відношенню до базового періоду
IDW	Кількість аномально сухих зим по відношенню до базового періоду
IWW	Кількість аномально вологих зим по відношенню до базового періоду
IDS	Кількість аномально сухих літ по відношенню до базового періоду
IWS	Кількість аномально вологих літ по відношенню до базового періоду

Для кількісного опису окремих індикаторів використаємо принцип «1 раз у 10 років» який полягає у наступному. Спочатку для кожної точки сітки для обох періодів для кожного року розраховувалися річні та сезонні (зимні та літні) суми опадів. Далі, використавши дані базового періоду (1986-2000 рр.) за допомогою накопичених повторюваностей визначалися 90-а та 10-а перцентилі, причому вважалося, що для даних про опади має місце гамма-розподіл. Для кожного з індикаторів визначалася кількість випадків, коли їх величина перевищувала 90-у та була менша за 10-у перцентилі. Далі, аналогічна кількість випадків розраховувалась для періоду 2011-2025 рр. і визначалася величина перевищення кількості випадків у другому періоді над кількістю випадків у першому. Інакше кажучи, якщо у першому періоді спостерігався 1 випадок річної кількості опадів вище 90 перцентилі, а у другому – 3, то як відповідний індикатор (*IWY*) бралася різниця цих значень, тобто 2.

3. Основні результати

На рис. 2-4 наведені зазначені у табл. 1 індикатори для трьох сценаріїв СДСВ. Спочатку відзначимо, що кількість аномально сухих літ залишиться майже незмінною, за винятком сценарію B1 для південного заходу України, де вона неістотно збільшиться (рис. 2 зліва); також для цього сценарію буде мати місце й незначне зростання літ з аномально великою кількістю опадів. Більше вологіших літ буде на правобережній Україні за сценарієм A2 (на 2-4 випадки), але найбільше зростання аномально вологих літ буде мати місце за сценарієм A1B, коли у деяких областях їх кількість збільшиться на 5 випадків (рис. 2 справа).

Що стосується аномально сухих зим (рис. 3 зліва), то їх кількість не зміниться майже для усієї території України для сценарію B1, а для решти сценаріїв збільшення кількості зим з аномально малою кількістю опадів матиме місце переважно над лівобережною Україною, причому на крайньому сході України аномально сухою може бути кожна третя зима за сценарієм A1B (див. рис. 3 зліва уверху). Найбільших змін

режим опадів узимку зазнає за сценарієм А2 для правобережної України (рис. 3 справа усередині), коли майже кожна 3-4 зима буде аномально вологою, тоді як для сценаріїв

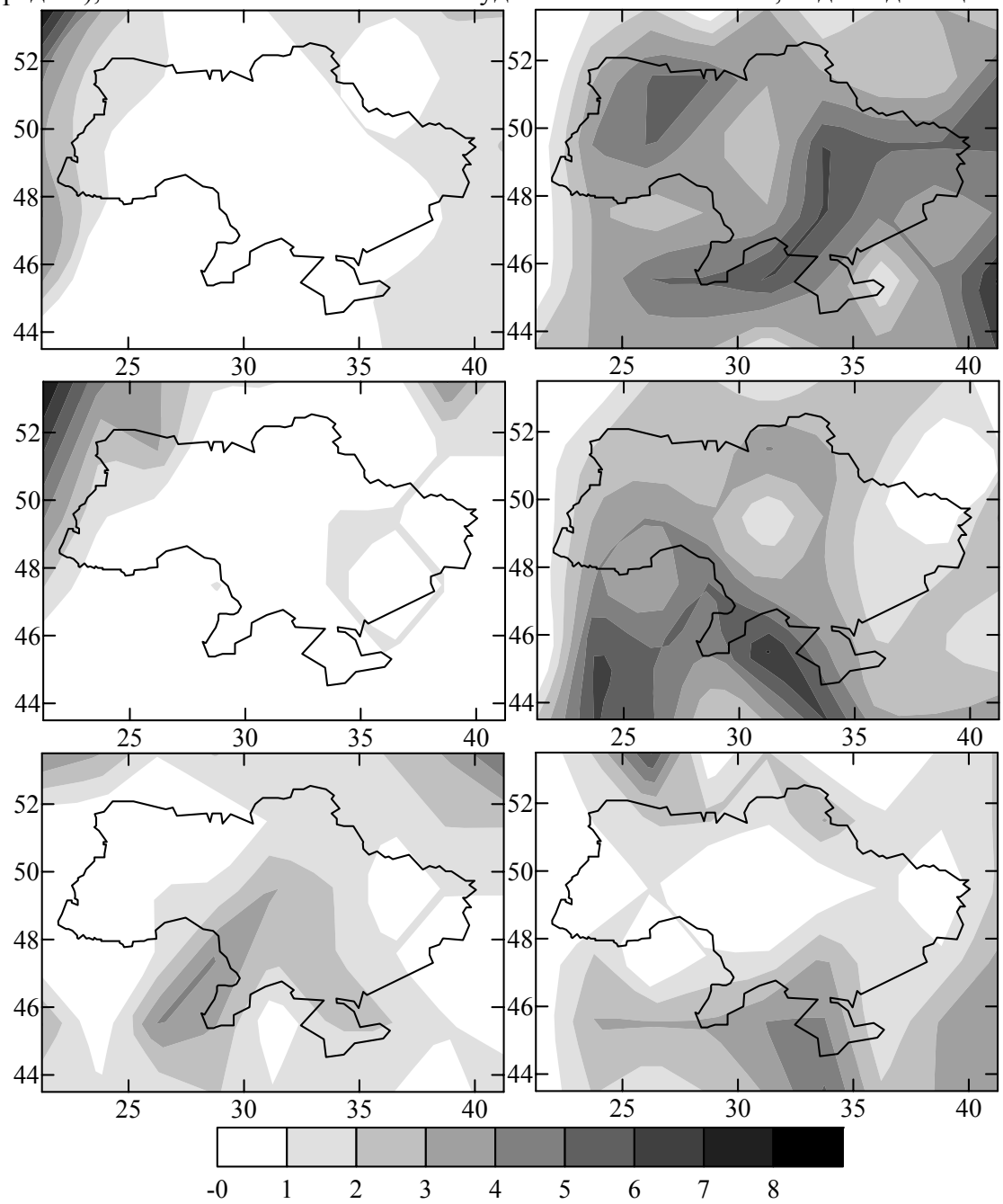

Рис. 2 – Поле індикаторів *IDS* (зліва) і *IWS* (справа) для сценаріїв А1В (зверху), А2 (усередині) та В1 (знизу).

А1В і В1 (рис. 3 справа) кількість аномально вологих зим зміниться неістотно над більшістю областей України.

Зміни режиму річних сум опадів будуть такими (рис. 4). Незначною мірою збільшиться кількість аномально сухих років; тільки в окремих областях, як, наприклад, в Одеській для сценарію В1 (рис. 4 зліва унизу), буде мати місце зростання їх кількості до більш-менш істотної величини. Також неістотно збільшиться кількість років з аномально великою кількістю опадів за сценарієм В1 та сценарієм А2 за винятком південної частини України. З іншого боку, для сценарію А1В буде характерним велика «плямистість» у змінах кількості аномально вологих років (рис. 4

справа уверху), причому їх кількість може досягати у деяких областях України значних величин, наприклад, майже кожний другий рік буде аномально вологим на півдні

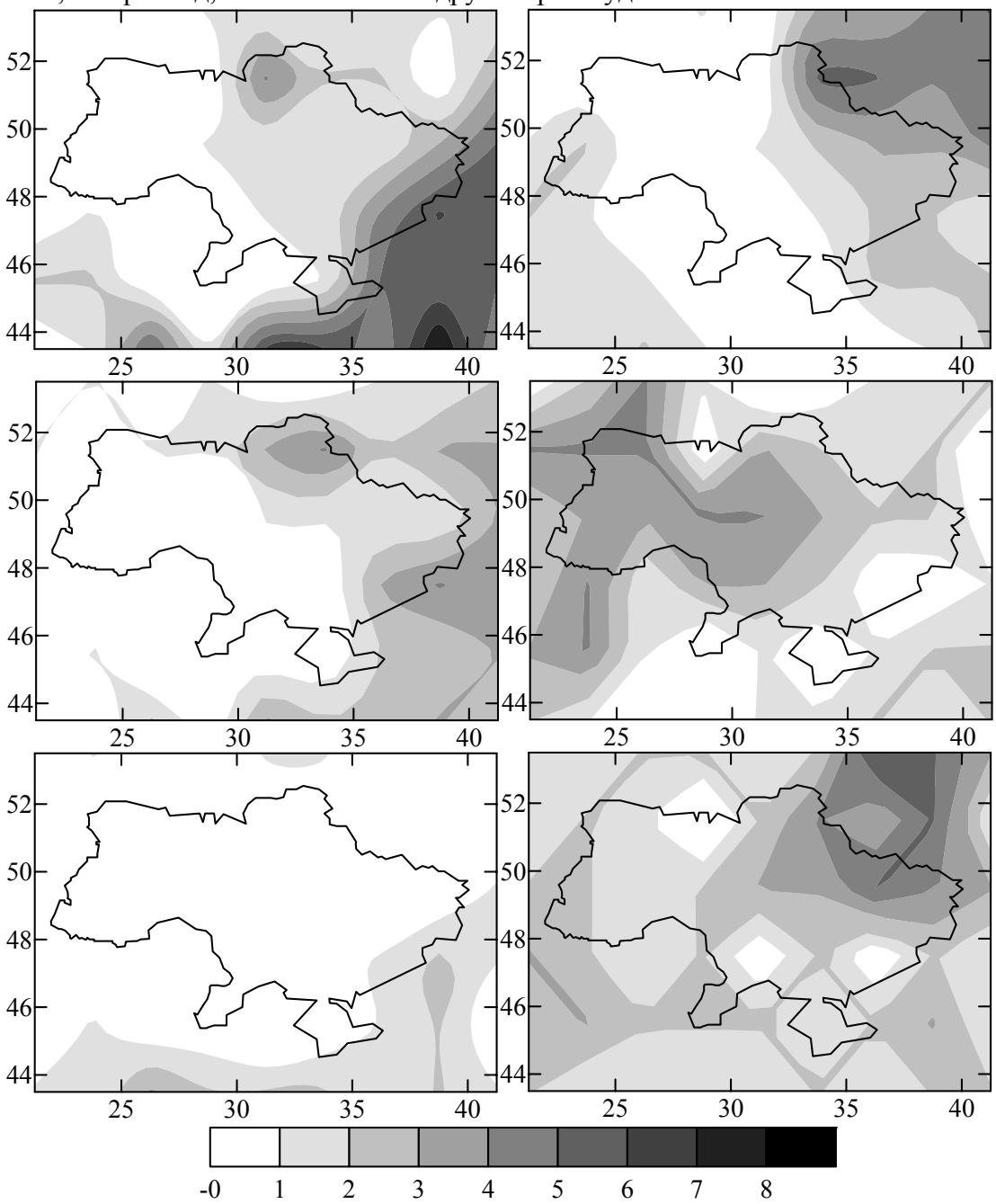

Рис. 3 – Поле індикаторів *IDW* (зліва) і *IWW* (справа) для сценаріїв A1B (зверху), A2 (усередині) та B1 (знизу).

Одеської області, кожний третій – у Волинській області.

Нарешті, на рис. 5 наведені величини індексу змін опадів, розраховані за формулою (2). По-перше, можна відзначити, що найменших змін в Україні режим опадів зазнає за «м'якого» сценарію B1: у середньому тільки два роки з п'ятнадцяти будуть характеризуватися аномальними подіями, причому тільки на півдні України. Як випливає з аналізу попередніх рисунків, це можуть бути не тільки аномально вологі, а й аномально сухі події. Також варто уваги те, що за цим сценарієм, а також сценарієм A2, найменшого впливу змін клімату зазнає західна частина України, а найбільшого – південна. Що ж стосується «помірного» сценарію A1B, то для нього зміни режиму

опадів над Україною у 2011-2025 рр. будуть найістотнішими. Насамперед це стосується східних областей України, де кожного четвертого року буде мати місце аномальна

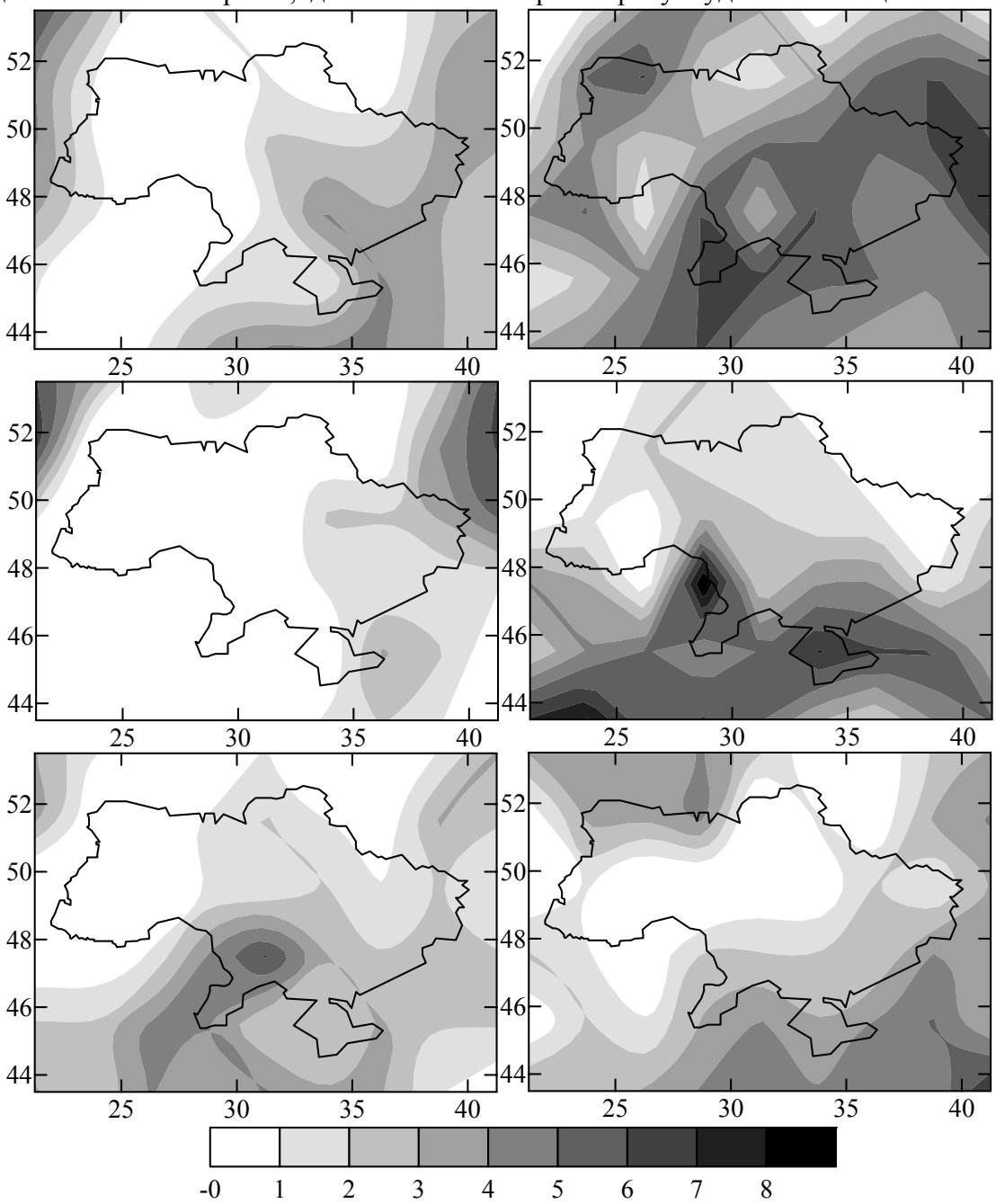

Рис. 4 – Поле індикаторів *IDY* (зліва) і *IWY* (справа) для сценаріїв A1B (зверху), A2 (усередині) та B1 (знизу).

подія, як правило пов'язана зі збільшенням кількості опадів; також зросте кількість аномальних подій і на Західній Україні, і тільки у невеликій кількості районів України режим опадів майже не зміниться.

4. Висновки

Насамперед, у роботі показується, що певні зміни режиму опадів не супроводжуються аналогічними змінами аномальних проявів. Наприклад за сценарієм A1B у кількісному вигляді опади зростуть на південному заході України, але збільшена кількість аномальних проявів у режимі опадів буде спостерігатися над сходом України.

Також треба відзначити, що у порівнянні з кінцем 20 століття кількість аномальних проявів режиму опадів у 2011-2025 рр. збільшиться. Цікавим є те, що сценарій А2, який

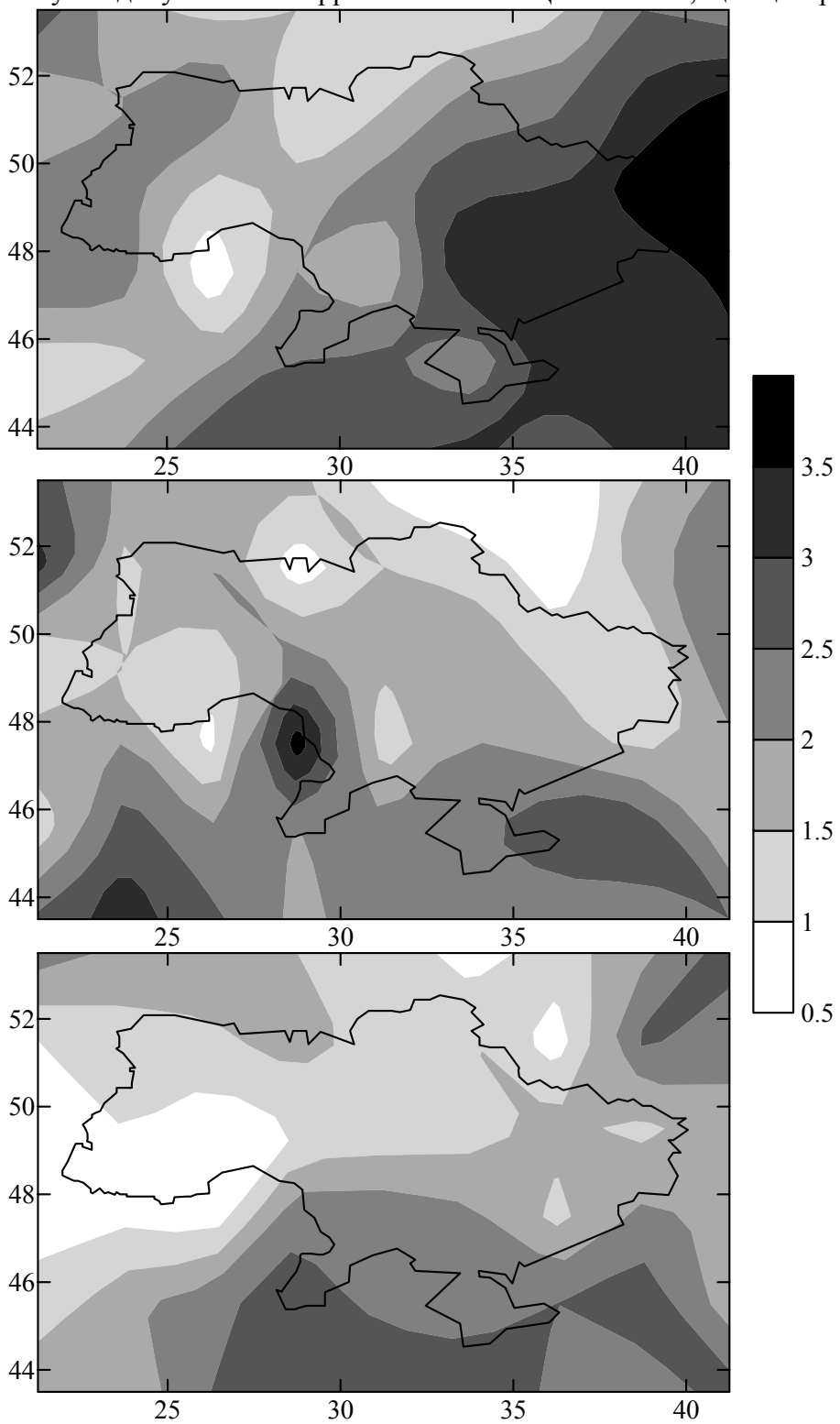

Рис. 5 – Поле індексу змін опадів *PI* для сценаріїв А1В (зверху), А2 (усередині) та В1 (знизу).

вважається «жорстким», у 2011-2025 рр. не спричинить будь-яких істотних змін режиму опадів України, причому це стосується, насамперед, аномальних проявів. З іншого боку, з точки розробки стратегії щодо пом’якшення наслідків глобального

потепління найсприятливішим є «м'який» сценарій B1, за якого розподіл змін опадів та їх аномалій над Україною буде найбільш гомогенним та незначним. Але істотна «плямистість» просторового розподілу аномальних проявів режиму опадів може свідчити про те, що подальші дослідження у цьому напрямку мають здійснюватися на основі даних не глобальних, а регіональних моделей, за допомогою яких можна виявити більш докладні особливості просторового розподілу метеорологічних параметрів.

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. *Special Report on Emission Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / N. Nakićenović et al. (eds.). – Cambridge University Press, 2000. – 599 p.

3. *Барабаш М.Б., Корж Т.В., Татарчук О.Г.* Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату // Наукові праці УкрНДГМІ, 2004. – Вип. 253. – С. 92-102.

4. *Балабух В.О.* Інтенсивність синоптичних процесів, що зумовлюють стихійну кількість опадів у теплий період, та її мінливість наприкінці XX – на початку XXI ст. // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, 2008. – Вип. 48, Ч. I. – С. 130-135.

5. *Хохлов В.Н.* Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века // Український гідрометеорологічний журнал, 2007. – Вип. 2. – С. 35-42.

6. *Хохлов В.М., Латиш Л.Г., Цимбалюк К.С.* Зміни температурного режиму в Україні у 2011-2025 роках // Вісник Одеського державного екологічного університету, 2009. – Вип. 8. – С. 70-78.

7. *Delworth T.L. et al.* GFDL's CM2 Global Climate Model. Part I: Formulation and simulation characteristics // J. Climate, 2006. – V. 19, No. 5. – P. 643-674.

8. *Baettig M.B., Wild M., Imboden D.M.* A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21st century // Geophys. Res. Lett., 2007. – V. 34. – L01705.

Пространственное распределение аномалий осадков в Украине в 2011-2025 годах.

Хохлов В.Н., Бондаренко В.Н., Латыш Л.Г.

Изменения режима осадков в Украине для периода 2011-2025 годов анализируются для некоторых сценариев СДСВ по данным моделирования. Делается анализ аномалий распределения осадков в течение отдельных сезонов и года в целом. Показывается, что наибольшие изменения режим осадков испытывает для «умеренного» сценария A1B, а для «мягкого» сценария B1 распределение изменений осадков в Украине будет наименее существенным.

***Ключевые слова**: режим осадков, будущие изменения климата, комплексный показатель.*

Spatial distribution of precipitation anomalies in Ukraine in 2011-2025.

Khokhlov V.N., Bondarenko V.N., Latysh L.G.

Ukrainian precipitation conditions' changes in 2011-2025 are analyzed for some SRES scenarios using model data. The analysis of precipitation anomalies' distribution is carried out during certain seasons and whole year. It is shown that the precipitation conditions undergo the largest changes for the "moderate" scenario A1B, and the distribution of precipitation in Ukraine will be most insufficient for the "soft" scenario B1.

***Keywords**: precipitation conditions, future climate changes, complex index.*