

МОЖЛИВІ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В УКРАЇНІ У 2011-2025 РОКАХ

Аналізуються регіональні особливості змін температури в Україні у 2011-2025 роках на основі розрахунків моделі GFDL за сценаріями A1B, A2, B1. Аналіз виконується за допомогою комплексного показника, який урахує аномальні розподіли температурного режиму протягом окремих сезонів та року в цілому. Показується, що найбільших змін температурний режим зазнає для «помірного» сценарію A1B, а для «м'якого» сценарію B1 розподіл змін температури в Україні буде найбільш гомогенним.

Ключові слова: температурний режим, майбутні зміни клімату, комплексний показник.

1. Вступ

Потепління глобальної кліматичної системи може розглядатися на сьогодні як незаперечний факт, що доводиться метеорологічними даними за останні 150 років за глобальною середньою температурою повітря та океану, підвищенням глобального середнього рівня моря та таненням снігу та льоду. Є дуже ймовірним, що підвищення глобальних середніх температур, яке спостерігається з середини 20 століття, здебільшого викликано підвищенням концентрацій антропогенних парникових газів [1]. Щоб визначити причини змін клімату, що мають місце, а також оцінити майбутні зміни, було реалізовано безпрецедентний за своїми масштабами та кількістю учасників модельний проект – 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 клімат для трьох сценаріїв. Все це дозволило просунути в уточненні та підвищенні достовірності оцінок майбутніх змін клімату, а також оцінити імовірнісні розподіли характеристик клімату для кожного зі сценаріїв.

Сценарії СДСВ (Спеціальної доповіді про сценарії викидів) [2] згруповані у чотири сценарні лінії (A1, A2, B1 і B2), в яких розглядаються альтернативні шляхи розвитку, що охоплюють широкий діапазон демографічних, економічних та технологічних рушійних факторів і підсумкових викидів парникових газів. В цих сценаріях припускається, що глобальна політика в галузі клімату не буде змінюватися. 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].

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].

Таблиця 1 – Глобальні викиди парникових газів (Гт CO₂-еквів./рік; 40 Гт CO₂ у 2000 р.) та зміни температури (°C) відносно 2000 р. згідно різних сценаріїв СДСВ

Сценарій	Глобальні викиди парникових газів		Зміни температури	
	2025	2100	2025	2100
A1B	64	63	0,5	2,2
A2	66	137	0,5	2,8
B1	53	25	0,5	1,2

У табл. 1 наведені деякі характеристики для зазначених вище сценаріїв [1]. Як можна бачити, на кінець першої чверті 21 століття глобальні зміни температури становитимуть приблизно 0,5 °C за усіма сценаріями. Цікавим є також те, що навіть якщо викиди парникових газів на кінець 21 століття зменшаться, як має відбутися за сценарієм B1, все одно середня глобальна температура збільшиться. У цій статті ми не будемо розглядати фізичні аспекти таких змін, а пропонуємо читачеві ознайомитися з Доповіддю «Зміни клімату 2007» [1].

Треба відзначити, що більшість наукових праць, в яких аналізуються кліматичні характеристики України, виконана для змін клімату, що вже відбулися (див., напр., [3-5]), а майбутні зміни, яких має зазнати клімат, майже зовсім не розглядаються. Отже, на тлі процесів, які відбуваються у глобальній кліматичній системі, виникає нагальна потреба оцінити у комплексі аномальність майбутнього температурного режиму та визначити найуразливіші з точки зору змін клімату на найближчі роки регіони України. Саме це й є метою цієї наукової статті.

2. Дані та методологія

Сучасні моделі загальної циркуляції атмосфери і океану дозволяють розглянути не тільки зміни глобального клімату, а й, певною мірою, оцінити його регіональні аспекти. Наприклад, розділення моделі Лабораторії геофізичної гідродинаміки (GFDL) Національної адміністрації по океану та атмосфері (NOAA) США версії 2.1 становить 2°широти×2,5°довготи [6], тобто дозволяє достатньо докладно вивчити регіональні особливості майбутніх змін різноманітних кліматичних характеристик над територією, яку можна зіставити з Україною. При моделюванні клімату 21 століття моделювання ансамблем моделей, до якого належить і модель GFDL, виконувалося з впливом одного з найважливіших зовнішніх чинників – викидів парникових газів до атмосфери, – які, в свою чергу, бралися за сценаріями СДСВ [2]. Отже, результатами інтегрування моделей є численні тривимірні масиви гідрометеорологічних даних; у цій статті використані результати моделювання за моделлю GFDL. Серед цих масивів було вибрано тільки один – середньомісячна температура повітря поблизу підстильної поверхні – 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° півн.ш. і довготами 21,25° та 41,25° сх.д.

Одним з найпростіших способів відображення можливих змін у кліматичному режимі метеорологічної величини є порівняння з минулими даними. Наприклад, Всесвітня метеорологічна організація пропонує використовувати для порівняння як базовий період 1961-1990 рр., а кліматичні підрозділи NOAA вже зараз використовують базовий період 1971-2000 рр. Але у нашому випадку це зробити неможливо, тому що довжина часового ряду, який ми розглядаємо (2011-2025 рр.), становить тільки 15 років, і саме тому як базовий період беруться 1986-2000 рр.

На рис. 1 наведені зміни середньої температури повітря у 2011-2025 рр. відносно 1986-2000 рр. для трьох зазначених вище сценаріїв. Як можна бачити, зміни

температурного режиму за сюжетними лініями А1В і А2 (рис. 1а і 1б) є схожими і відрізняються одна від іншої тільки величинами змін: потепління (для сценарію А2 – навіть похолодання) є найменшим на південному заході України і збільшується у напрямку східної та західної України. За сценарієм В1 (рис. 1в) найменше потепління матиме місце над півднем та заходом України, а найбільше – над східною Україною.

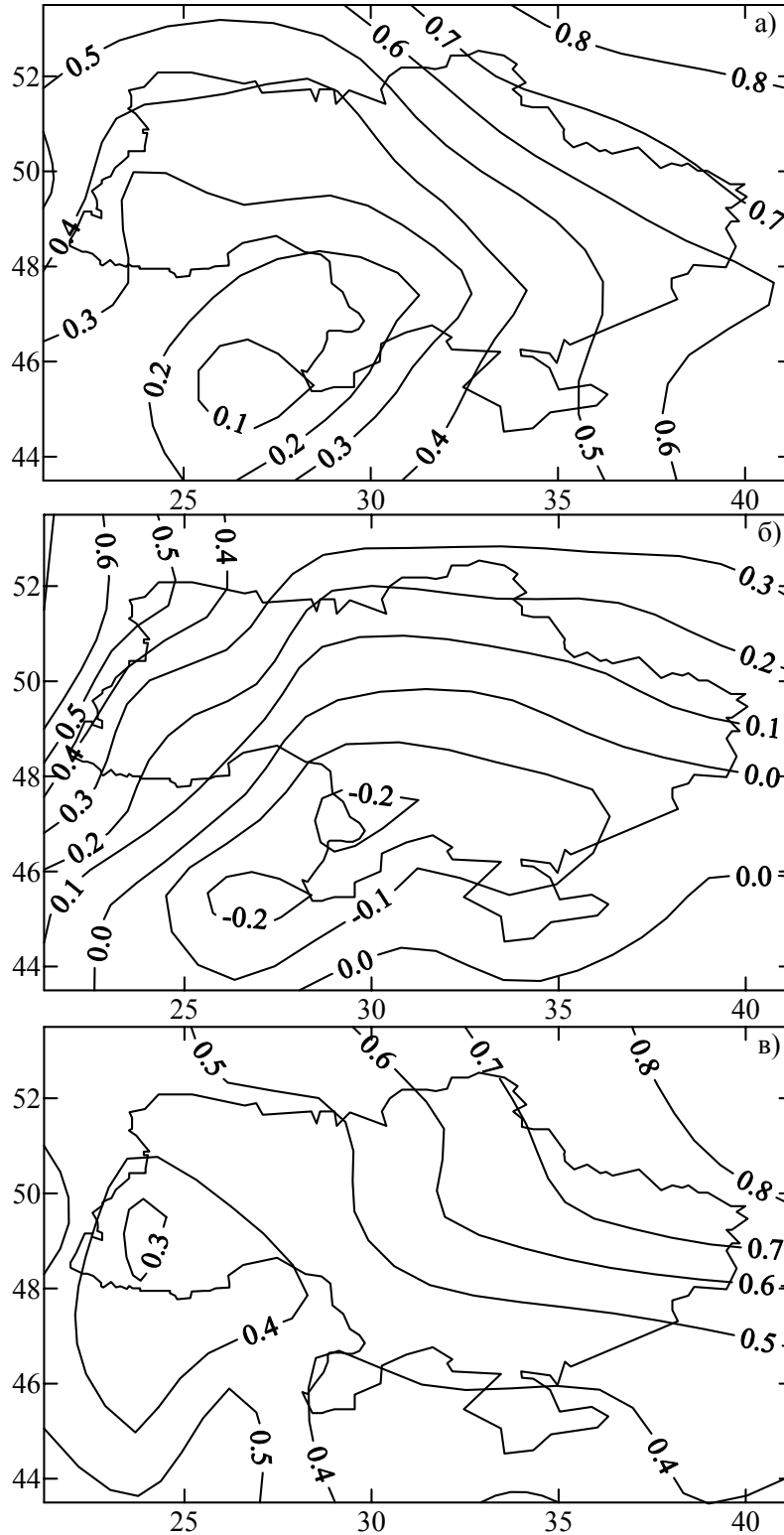


Рис. 1 – Зміни середньої для 2011-2025 рр. температури повітря в Україні відносно базового періоду 1986-2000 рр. для сценаріїв А1В (а), А2 (б) і В1 (в).

Таким чином, на фоні глобального потепління до 2025 р. на приблизно 0,5 °С в Україні відбуватимуться достатньо нерівномірні зміни температурного режиму, причому найменш істотними вони будуть за «жорстким» сценарієм А2, коли майже для всієї України температура у середньому збільшиться не більше, ніж на 0,5 °С. Найістотніші ж зміни температури спостерігатимуться за «м'яким» сценарієм В1, коли майже уся північна, центральна та східна Україна характеризуватиметься потеплінням, більшим за 0,5 °С.

Проте, тільки коливання середніх величин не визначають «зміни клімату», тому що треба розглядати також і мінливість метеорологічних величин. У роботі [7] 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. Тут для визначення у комплексі мінливості температури над Україною використаємо запропоновану в [7] концепцію, яка стисло може бути описана наступним чином.

Розглянемо індекс (TI), що має відношення до мінливості температури і враховує події, які можуть мати місце у періоді 2011-2025 рр. після одержання середньорічних та середньосезонних температур ($TI1$ і $TI2$, відповідно)

$$TI = (TI1 + TI2) / 2. \quad (1)$$

Кожний з індексів $TI1$ і $TI2$ подається у вигляді:

$$TI1 = \frac{ICY + IHU}{2}, \quad TI2 = \frac{IHW + ICW + IHS + ICS}{4}. \quad (2)$$

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

Для кількісного опису окремих індикаторів використаємо принцип «1 раз у 10 років» який полягає у наступному. Спочатку для кожної точки сітки для обох періодів розраховувалися середні для кожного року, зими та літа значення температури. Далі, використавши дані базового періоду (1986-2000 рр.), за допомогою накопичених повторюваностей визначалися 90-а та 10-а перцентилі, причому вважалося, що дані про температуру розподілені нормально. 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 середньорічної температури вище 90 перцентилі, а у другому – 3, то як відповідний індикатор (IHU) бралася різниця цих значень, тобто 2.

Таблиця 2 – Індикатори, що підсумовуються в індекс змін температури

Індикатор	Опис
ICY	Кількість аномально холодних років по відношенню до базового періоду
IHU	Кількість аномально жарких років по відношенню до базового періоду
ICW	Кількість аномально холодних зим по відношенню до базового періоду
IHW	Кількість аномально жарких зим по відношенню до базового періоду
ICS	Кількість аномально холодних літ по відношенню до базового періоду
IHS	Кількість аномально жарких літ по відношенню до базового періоду

3. Основні результати

На рис. 2-4 наведені зазначені у табл. 2 індикатори для трьох сценаріїв СДСВ. Спочатку відзначимо, що кількість аномально холодних літ збільшиться переважно тільки на півдні України, особливо в Одеській обл., причому за сценарієм А1В вона зростає на 4 аномально холодних літа в українському Придунав'ї (рис. 2 зверху зліва). Як і слід було сподіватися, за глобального потепління істотно збільшується кількість аномально теплих літ майже на всій території України, причому для сценарію В1 у Вінницькій та Донецькій областях цей індикатор зростає до 7 літ, тобто майже кожне друге літо буде аномально теплим. Цікаво також, що для сценарію А2 (рис. 2 усередині) майже над усім півднем України літа будуть переважно аномально холодними, а не аномально теплими.

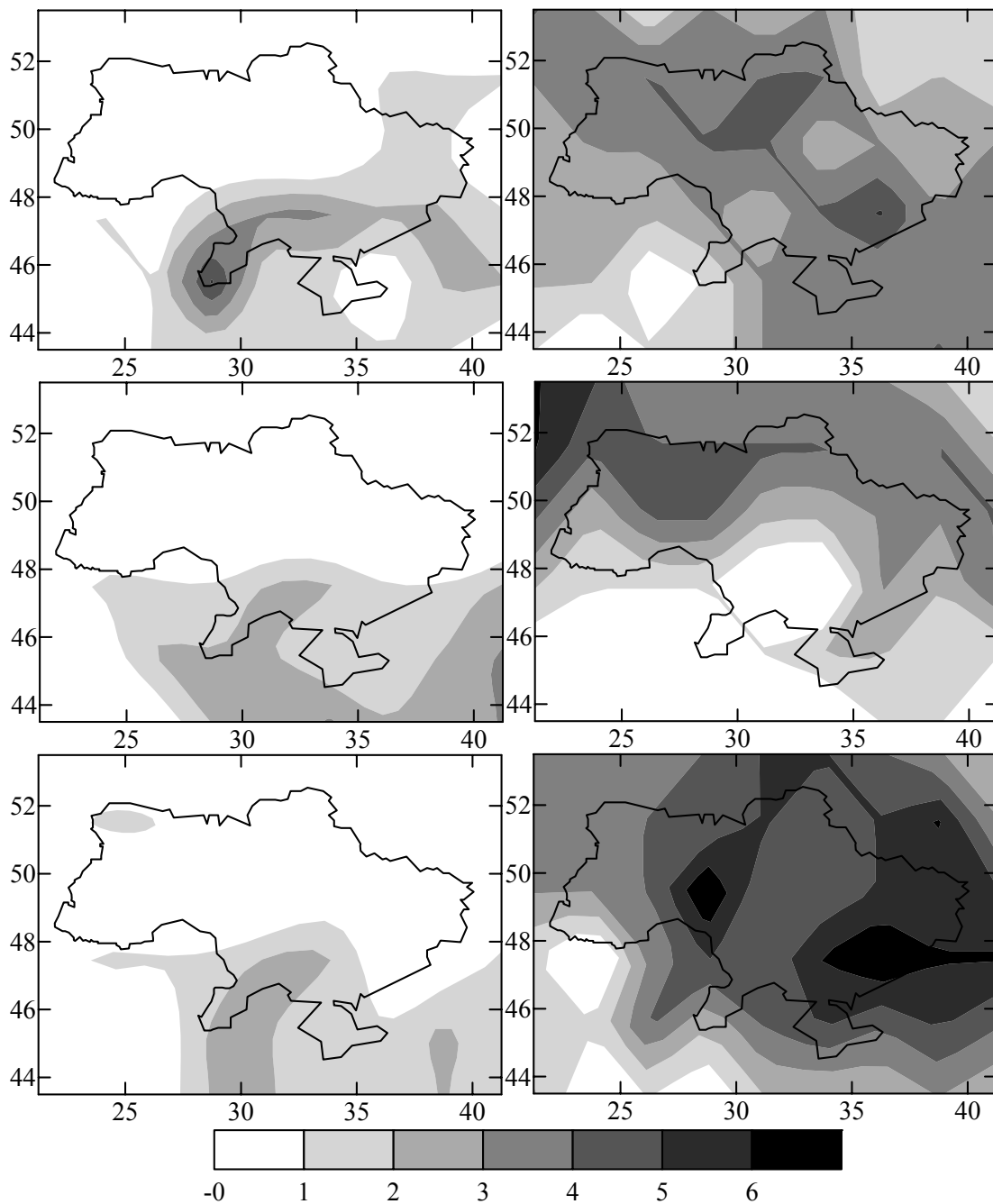


Рис. 2 – Поле індикаторів *ICS* (зліва) і *IHS* (справа) для сценаріїв А1В (зверху), А2 (усередині) та В1 (знизу).

Що стосується аномально холодних зим (рис. 3), то їх кількість буде незначною майже для всієї України. Тільки у деяких районах сходу України за сценарієм А2 кожна четверта або п'ята зима буде аномально холодною. Також незначною буде кількість аномально теплих зим за сценаріями В1 і А2, але для сценарію А1В майже для всієї України буде аномально теплою кожна четверта зима, а що стосується більшої частини півночі України – то й кожна третя.

Майже аналогічний розподіл мають поля індикаторів *ICU* і *IHY* (рис. 4) – кількість аномально холодних років є неістотною, а кількість аномально теплих – великою для деяких сценаріїв та регіонів України. Наприклад, за сценарієм В1 кожний четвертий рік буде аномально теплим над усією Україною, а за сценарієм А1В – тільки над північною та частиною заходу України. Цікаво також, що за сценарієм А2 у західній Україні

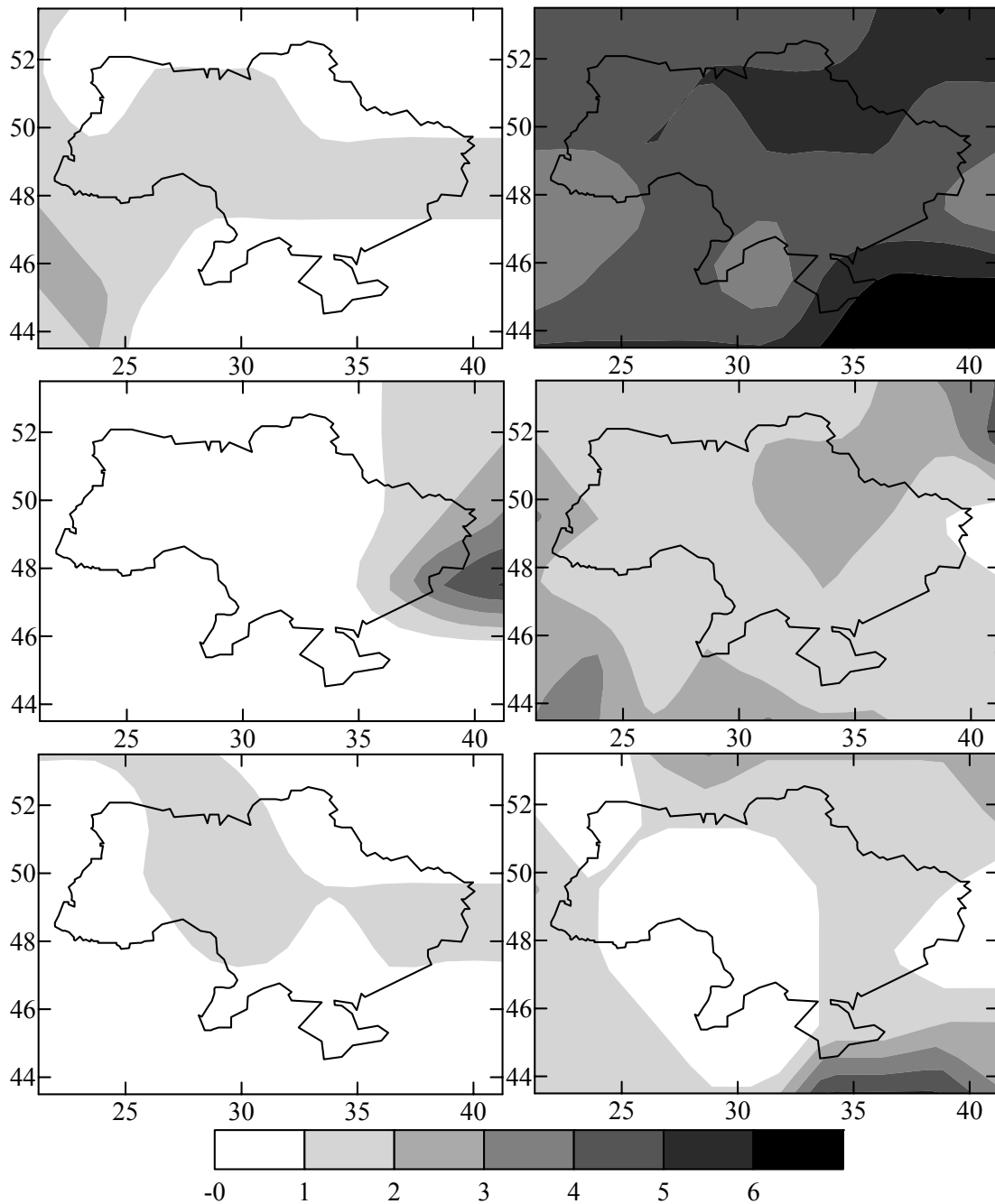


Рис. 3 – Поле індикаторів *ICW* (зліва) і *IHW* (справа) для сценаріїв А1В (зверху), А2 (усередині) та В1 (знизу).

збільшиться кількість тільки аномально теплих років, тим часом як кількість аномально холодних років залишиться тією ж, що й наприкінці 20 століття. Зворотна картина спостерігається для решти території України (див. рис. 4 усередині).

Нарешті, на рис. 5 наведені величини індексу змін температури, розраховані за формулою (2). По-перше, можна відзначити, що найменших змін в Україні режим температури зазнає за «жорсткого» сценарію А2, коли кількість аномалій здебільшого перевищує кількість аномалій температури сьогодні лише на 1-2 події (рис. 5 усередині). По-друге, найбільші зміни спостерігаються для «помірного» сценарію А1В, коли кількість аномалій становить двадцять відсотків майже над усією Україною; до того ж для цього сценарію має місце найбільша неоднорідність поля індексу змін температури (рис. 5 зверху). По-третє, найбільш однорідним є поле індексу TI для

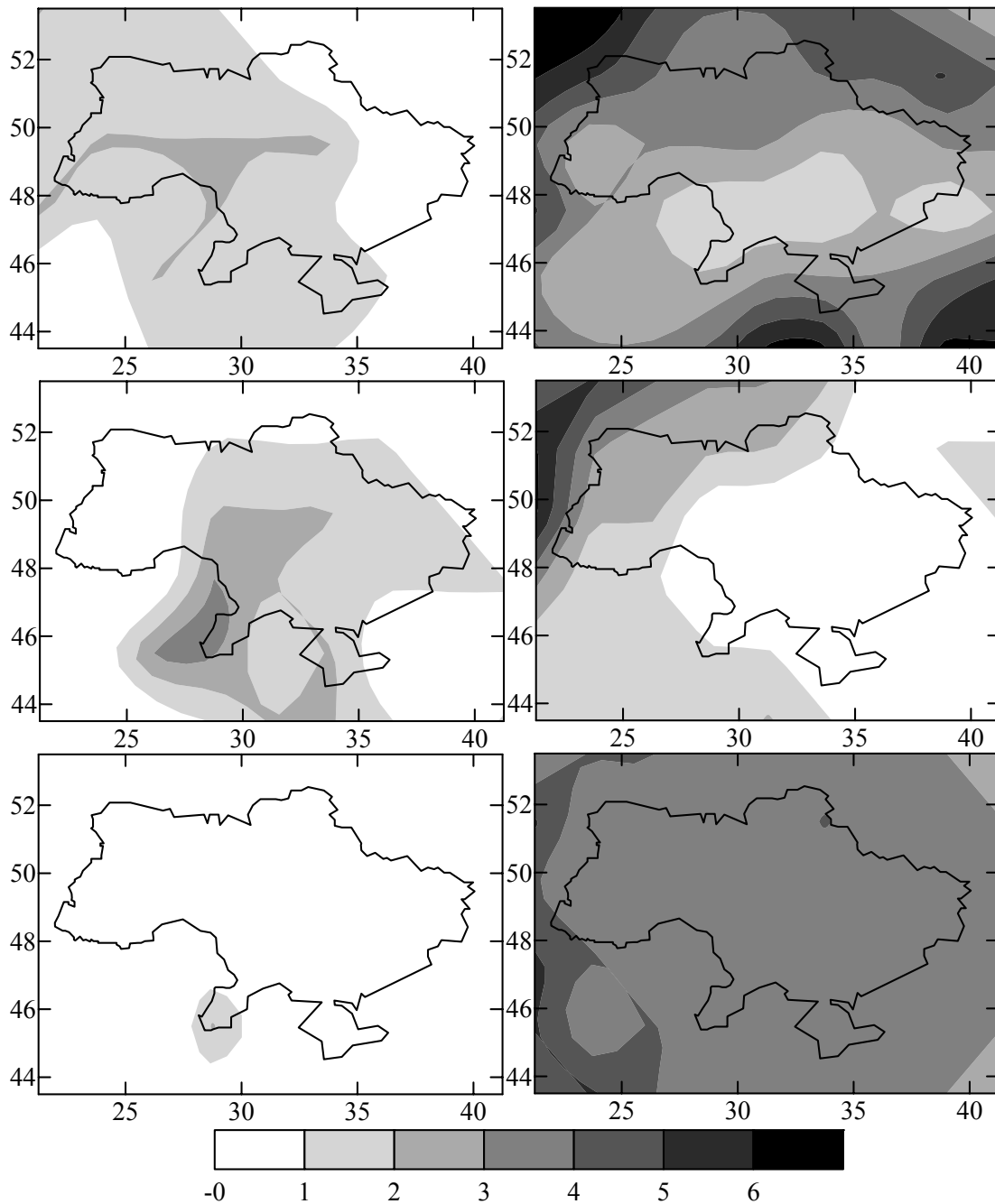


Рис. 4 – Поле індикаторів ICY (зліва) і IHU (справа) для сценаріїв А1В (зверху), А2 (усередині) та В1 (знизу).

сценарію В1, де, за виключенням західної України, кількість аномалій збільшується на 1-2 події. З порівняння рис. 1 з рис. 5 випливає, що узгодженість між полями змін температури та полями змін аномалій температури є дуже слабкою і можна виявити тільки окремі (скоріше за все випадкові) схожі риси, як то найменше зменшення температури та мінімум аномалій над півднем України для сценарію А1В.

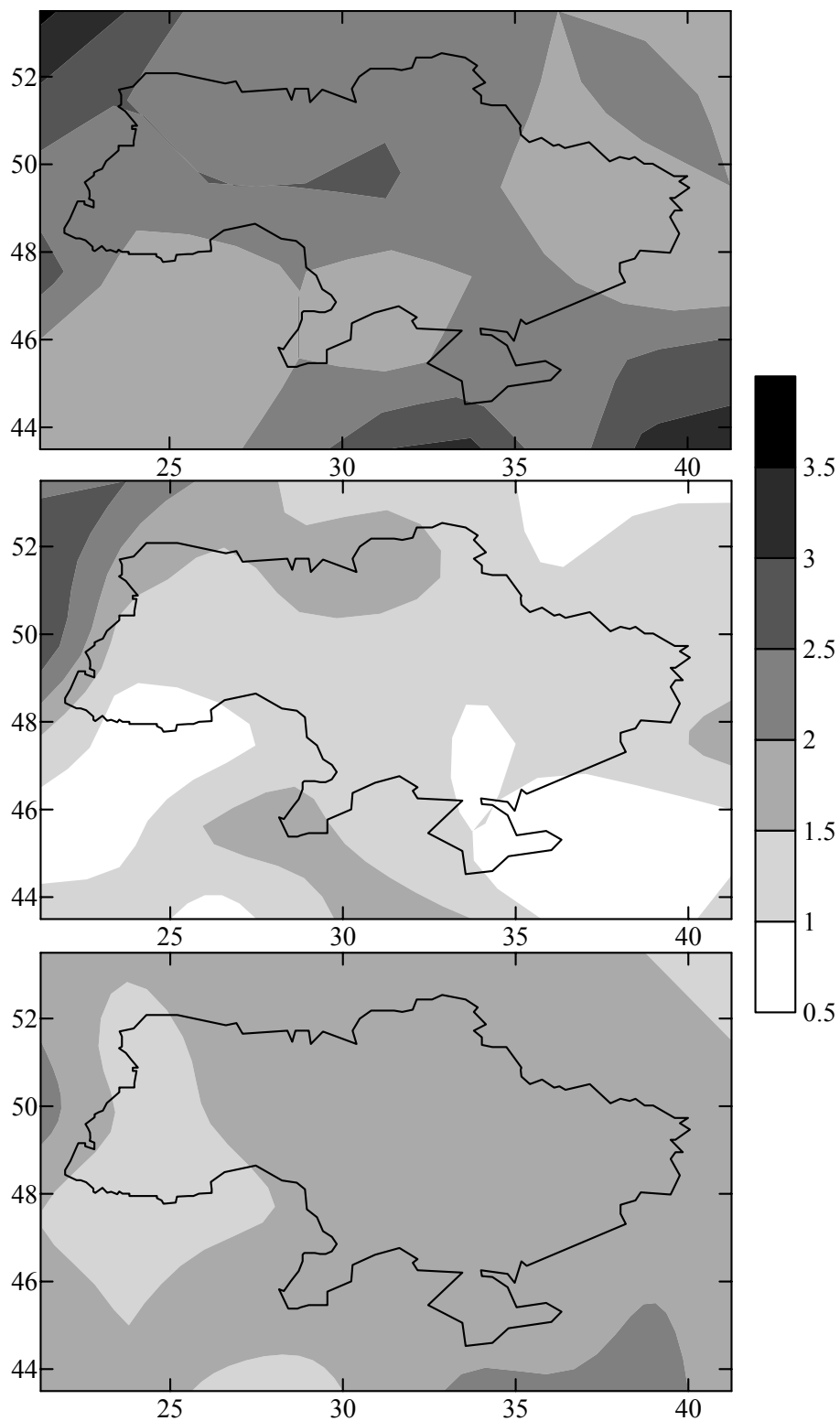


Рис. 5 – Поле індексу змін температури TI для сценаріїв А1В (зверху), А2 (усередині) та В1 (знизу).

4. Висновки

Виявлений факт, що певні зміни температури не супроводжуються тотожними змінами аномалій температурного режиму, а останні є дуже важливими при оцінці впливу змін клімату на природні та соціальні системи, говорить про правильність обраного нами методу. Насамперед треба відзначити, що у порівнянні з кінцем 20 століття кількість аномальних проявів температурного режиму у 2011-2025 рр. збільшиться. Цікавим є те, що сценарій А2, який вважається «жорстким» і за якого наприкінці 21 століття глобальне підвищення температури буде найбільшим, у 2011-2025 рр. не спричинить будь-яких істотних змін температурного режиму України, причому це стосується як середніх величин, так й аномальних проявів. З іншого боку, з точки розробки стратегії щодо пом'якшення наслідків глобального потепління найсприятливішим є «м'який» сценарій В1, за якого розподіл змін середніх температур і їх аномалій над Україною буде найбільш гомогенним. Проте треба відзначити, що аналіз тільки температурного режиму не може вважатися узагальнюючим для усього різноманіття проявів зміни клімату і тому потрібні подальші дослідження з усім комплексом гідрометеорологічних величин.

Список літератури

1. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* / S. Solomon et al. 1(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. Nakicenović et al. (eds.). – Cambridge University Press, 2000. – 599 p.
3. Гребенюк Н.П., Барабаш М.Б. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації // Наукові праці УкрНДГМІ, 2004. – Вип. 253. – С. 148-154.
4. Серга Е.М. Результати чисельних експериментів по статистичній моделі динаміки клімату України // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, 2004. – Вип. 48. – С. 25-34.
5. Хохлов В.Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века // Український гідрометеорологічний журнал, 2007. – Вип. 2. – С. 35-42.
6. 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.
7. 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.

Возможные изменения температурного режима в Украине в 2011-2025 годах. Хохлов В.Н., Латыш Л.Г., Цимбалюк Е.С.

Анализируются региональные особенности изменений температуры в Украине в 2011-2025 годах на основе расчетов модели GFDL по сценариям A1B, A2, B1. Анализ осуществляется при помощи комплексного показателя, который учитывает аномальные распределения температурного режима в течение отдельных сезонов та года в целом. Показывается, что наибольший изменения температурный режим испытывает для «умеренного» сценария A1B, а для «мягкого» сценария B1 распределение изменений температуры в Украине будет наиболее гомогенным.

Ключевые слова: температурный режим, будущие изменения климата, комплексный показатель.

Possible thermal condition changes in Ukraine in 2011-2025. Khokhlov V.N., Latysh L.G., Tsybalyuk E.S.
Regional features of Ukrainian temperature changes in 2011-2025 are analyzed using GFDL's model calculations by scenarios A1B, A2, B1. The analysis is carried out by means of complex index, which allows abnormal distributions of thermal conditions during certain seasons and whole year. It is shown that the thermal conditions undergo the largest changes for the "moderate" scenario A1B, and the distribution of temperature in Ukraine will be most homogeneous for the "soft" scenario B1.

Keywords: thermal conditions, future climate changes, complex index.