

Государственная гидрометеорологическая служба Украины

Гидрометеорологический центр
Черного и Азовского морей

ВЕСТНИК

**ГИДРОМЕТЦЕНТРА
ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ**

№ 1 (11)

Одесса - 2010

2. Торопов П. А. Оценка качества воспроизведения моделями общей циркуляции атмосферного климата Восточно-Европейской равнины // Метеорология и гидрология. — 2005. — № 5. — С. 5-21.
3. Шалимов Н. А. Девярых Г. Н. Краткая биоклиматическая характеристика Одесской области / Науково-методичні проблеми покращення довкілля Одеського регіону // Зб. наук. пр. ОЦНТБ. — Одеса, 2006. — С. 300-305.
4. Gates W. L. The Atmospheric Model Intercomparison Project. — Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1992. — Vol. 73. — P. 1962-1970.

*В. М. Хохлов, Г. О. Боровська,
В. М. Бондаренко, Л. Г. Латиш*

РЕГІОНАЛЬНІ АСПЕКТИ ЗМІН КЛІМАТУ НА УКРАЇНІ

До зміни клімату в слововживанні МГЕІК [1] належить зміна стану клімату, який може бути визначене (наприклад, за допомогою статистичних випробувань) через зміну середніх значень і мінливість його властивостей і яке зберігається протягом тривалого періоду, як правило, декілька десятиліть і більше. Воно відноситься до глобальної зміни клімату в часі, будь то унаслідок природно мінливості або в результаті діяльності людини. Це трактування відрізняється від того, що вживається в Рамковій конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (РКІК ООН), де зміна клімату позначає зміну клімату, яка пряма або побічно обумовлена діяльністю людини що викликає зміни у складі глобальної атмосфери і накладається на природну мінливість клімату спостережувані за порівнянні періоди часу.

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 [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 розг-

лядаються 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 XXI 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-якою ймовірністю [2].

У табл. 1 наведені деякі характеристики для зазначених вище сценаріїв [1]. Як можна бачити, на кінець першої чверті XXI 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 роботі ми не будемо розглядати фізичні аспекти таких змін, а пропонуємо читачеві ознайомитися з Доповіддю «Зміни клімату 2007» [1].

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) Національ-

ної адміністрації по океану та атмосфері (NOAA) США версії 2.1 становить 2° широти \times $2,5^\circ$ довготи [3], тобто дозволяє достатньо докладно вивчити регіональні особливості майбутніх змін різноманітних кліматичних характеристик над територією, яку можна зіставити з Україною. При моделюванні клімату XXI 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 роботі 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» А2, «помірного» А1В і «м'якого» В1 — у вузлах регулярної сітки, обмеженої широтами $43,5^\circ$ та $53,5^\circ$ півн.ш. і довготами $21,25^\circ$ та $41,25^\circ$ сх.д.

Таблиця 1.

Глобальні викиди парникових газів (Гт CO_2 -еквів./рік; 40 Гт CO_2 у 2000 р.) та зміни температури ($^\circ\text{C}$) 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

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.

У роботі [4] показано, що зміни температурного режиму за сюжетними лініями А1В і А2 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 найменше потепління матиме місце над півднем та заходом України, а найбільше — над східною Україною.

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.

Що стосується змін річних сум опадів у 2011-2025 рр. відносно 1986-2000 рр. для трьох зазначених вище сценаріїв, то можна зауважити наступне [5]. Зміни режиму опадів за сюжетними лініями А1В і А2 також є схожими — майже над усією Україною опади будуть збільшуватися, особливо над південним заходом, а відрізняються одна від іншої тільки тим, що за сценарієм А2 над сходом України буде мати місце невелике зменшення річних сум опадів. Що ж стосується сценарію В1, 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 В1, коли майже для всієї України річна сума опадів зміниться у середньому не більше ніж на 7 % від сьогоденної. За іншими двома сценаріями найістотніших змін зазнає режим опадів на південному заході України, де річна сума може збільшитися на 10-15 % від тієї, що спостерігається у теперішній час.

Проте, тільки коливання середніх величин не визначають «зміни клімату», тому що треба розглядати також і мінливість метеорологічних величин. У роботі [6] було запропоновано використовувати як комплексний показник індекс зміни клімату, в який входили два показники, що стосувалися температури та опадів. Тут використовуємо цю концепцію для визначення у комплексі мінливості температури та опадів над Україною.

Спочатку відзначимо, що кількість аномально холодних літ збільшиться переважно тільки на півдні України, особливо в Одеській обл., причому за сценарієм А1В вона зросте на 4 аномально холодних літа в українському Придунав'ї. Як і слід було споді-

ватися, 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 майже над усім півднем України літа будуть переважно аномально холодними, а не аномально теплими.

Що стосується аномально холодних зим, 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 стосовно років — 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 північчю та частиною заходу України. Цікаво також, що за сценарієм А2 у західній Україні збільшиться кількість тільки аномально теплих років, тим часом як кількість аномально холодних років залишиться тією ж, що й наприкінці ХХ століття. Зворотна картина спостерігається для решти території України.

Нарешті, на рис. 1 наведені величини індексу змін температури. По-перше, можна відзначити, що найменших змін в Україні режим температури зазнає за «жорсткого» сценарію А2, коли кількість аномалій здебільшого перевищує кількість аномалій температури сьогодення лише на 1-2 події (рис. 1-б). 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. 1-а). По-третє, найбільш однорідним є поле індексу TI для сценарію В1 (рис. 1-в), де, за виключенням західної України, кількість аномалій збільшується на 1-2 події. Можна також відзначити, 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.

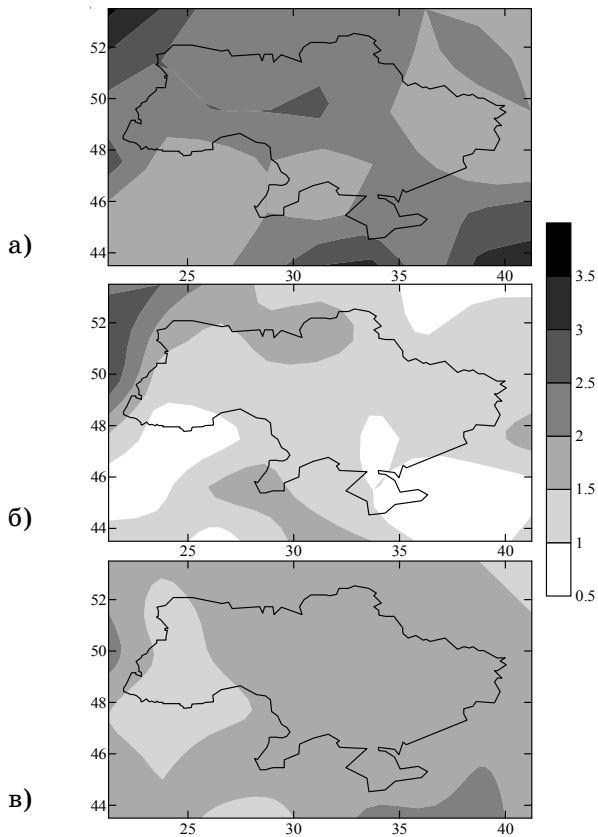


Рис. 1. Поле індексу змін температури для сценаріїв:
а) A1B; б) A2; в) B1

Стосовно режиму опадів відзначимо, що кількість аномально сухих літ залишиться майже незмінною, за винятком сценарію B1 для південного заходу України, де вона неістотно збільшиться; 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.

Що стосується аномально сухих зим, то їх кількість не зміниться майже для усієї території України для сценарію B1, а для реш-

ти 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 А1В. Найбільших змін режим опадів узимку зазнає за сценарієм А2 для правобережної України, коли майже кожна 3-4 зима буде аномально вологою, тоді як для сценаріїв А1В і В1 кількість аномально вологих зим зміниться неістотно над більшістю областей України.

Зміни режиму річних сум опадів будуть такими. Незначною мірою збільшиться кількість аномально сухих років; тільки в окремих областях, як, наприклад, в Одеській для сценарію В1, 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, причому їх кількість може досягати у деяких областях України значних величин, наприклад, майже кожний другий рік буде аномально вологим на півдні Одеської області, кожний третій — у Волинській області.

Нарешті, на рис. 2 наведені величини індексу змін опадів. Поперше, можна відзначити, що найменших змін в Україні режим опадів зазнає за «м'якого» сценарію В1: у середньому тільки 2 роки з 15 будуть характеризуватися аномальними подіями, причому тільки на півдні України. Як випливає з аналізу рис. 1, це можуть бути не тільки аномально вологі, а й аномально сухі події. Також варто уважити, що за цим сценарієм, а також сценарієм А2, найменшого впливу змін клімату зазнає західна частина України, а найбільшого — південна. Що ж стосується «помірного» сценарію А1В, 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 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.

Як висновки відзначимо, 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 ХХ століття кількість аномальних проявів температурного режиму у 2011-2025 рр. збільшиться. Цікавим є те, що сценарій А2, який вважається «жорстким» і за якого наприкінці ХХІ 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.

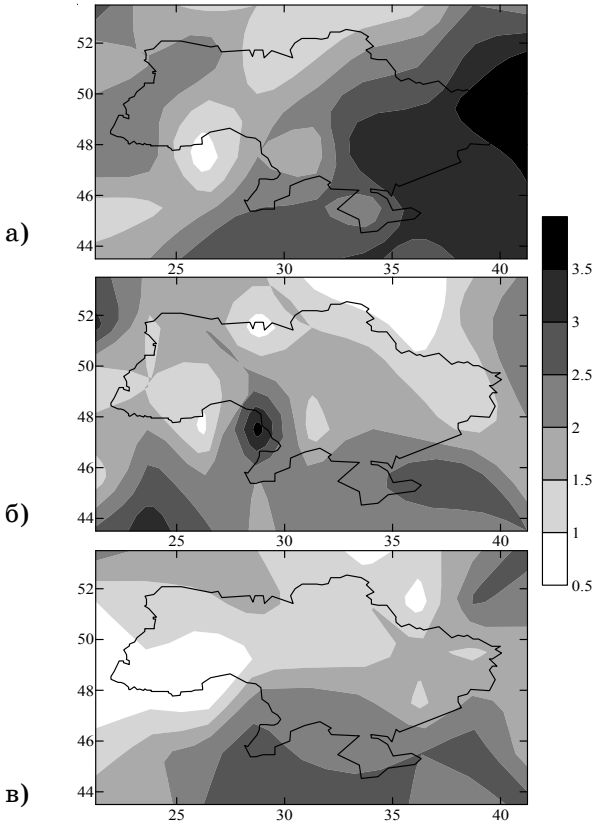


Рис. 2. Поле індексу змін опадів для сценаріїв:
а) А1В; б) А2; в) В1

Також треба відзначити, що у порівнянні з кінцем ХХ століття кількість аномальних проявів режиму опадів у 2011-2025 рр. збільшиться. Цікавим є те, що сценарій А2, який 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 В1, 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.

Література

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. Nakicenovic et al. (eds.). — Cambridge University Press, 2000. — 599 p.
3. 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.
4. 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. 21-29.
5. Хохлов В. М., Бондаренко В. М., Латиш Л. Г. Просторовий розподіл аномалій опадів в Україні у 2011-2025 роках // Український гідрометеорологічний журнал. — 2009. — Вип. 5. — С. 54-62.
6. 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.