

УДК: 551.582.1

РЕЖИМ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ТА ОПАДІВ В УКРАЇНІ В 2021-2050 РОКАХ ЗА ДАНИМИ АНСАМБЛЮ МОДЕЛЕЙ CORDEX

М. С. Замфірова, В. М. Хохлов

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

Для періоду 2081–2100 років у порівнянні з 1986–2005 роками очікується підвищення глобальної температури на 0,3–4,8 °С. За результатами попередніх досліджень, у найближчому майбутньому середньорічна температура повітря в усіх регіонах України буде збільшуватися, а максимальне збільшення кількості опадів очікується переважно у західному та північному регіонах взимку та навесні, і зменшення – у центральному, східному та південному регіонах влітку та восени. Ця стаття має на меті виявлення особливостей змін температури повітря та опадів для різних регіонів України у 2021-2050 роках за результатами моделювання ансамблю моделей CORDEX за сценарієм RCP4.5. Для аналізу було відібрано 16 симуляцій за 7 регіональними кліматичними моделями і результати представлені для п'яти обласних центрів України – Києва, Львова, Кропивницького, Харкова та Одеси.

Показано, що майбутні місячні опади в усіх регіонах мають тенденцію до збільшення в середньому на 20–40 мм протягом осені, зими та весни, а влітку очікується їх зменшення. На півдні України за деякими моделями в липні та серпні опади будуть близькими до нуля, що є характерним для середземноморського клімату. У порівнянні з 1961–1990 роками, найменших змін зазнає середньомісячна температура повітря весною та восени (до 1 °С), тоді як збільшення температури влітку та взимку становитиме 2,5–3,5 °С. В Одесі, на відміну від сьогодення, очікується додатна середньомісячна температура повітря протягом всього року, і тільки 25% симуляцій показують від'ємні середньомісячні мінімальні температури. На півночі України зростання середньомісячної мінімальної та максимальної температури взимку становитиме 2,0–2,5 °С, а влітку істотно підвищуватиметься тільки максимальна температура повітря.

Таким чином, можна припустити зміну характеру вологозабезпеченості території України у найближчі тридцять років. Також можна передбачити велику ймовірність відсутності снігового покриву протягом усієї зими на півдні України внаслідок додатних температур.

Ключові слова: зміна клімату; температура повітря; опади; сезонний хід; CORDEX

1. ВСТУП

Останніми роками зміни клімату привернули велику увагу наукової спільноти внаслідок того, що їх вплив простежується по усій земній кулі. П'ятий звіт про оцінку Міжурядової групи експертів зі змін клімату [1] однозначно визначає потепління кліматичної системи, і, починаючи з 1950-х років, велика кількість спостережених змін була безпрецедентною на масштабі часу від декількох десятиліть до тисячоліть. У північній пікулі, тридцятирічний період 1983–2012 років був, ймовірно, найтеплішим за останні 1400 років, а швидкість збільшення середньої глобальної температури в період 1951–2012 років становила 0,12 °С на десятиліття. За даними зазначе-

ного звіту, головним чинником спостережуваного потепління з середини 20-го століття з великою ймовірністю є антропогенні викиди парникових газів.

Залежно від майбутніх сценаріїв викидів протягом 21-го століття очікується підвищення глобальної температури – у порівнянні з 1986–2005 роками воно становитиме 0,3–0,7 °С для періоду 2016–2035 років та 0,3–4,8 °С за період 2081–2100 років. Стосовно ж опадів, П'ятий звіт про оцінку повідомляє про неоднорідні зміни у майбутньому, причому в багатьох випадках вони порівняні з природною внутрішньою мінливістю клімату [1].

Враховуючи вище викладене, інтерес до стратегій пом'якшення та адаптації до зміни клімату

підвищується [2], і оскільки опади та температура є двома основними показниками стану кліматичної системи, їх дослідження є важливим. Як і тенденції змін метеорологічних величин у минулому, так і прогнози за кліматичними моделями можуть бути використані для виявлення та кількісної оцінки змін клімату. Особливо це стосується регіонального клімату, зокрема в Україні.

Просторово-часовий розподіл температури та опадів на території України в минулому та найближчому майбутньому досліджувався у багатьох наукових працях (див. [3–11]). Наприклад, було виявлено, що середньорічна температура повітря в усіх регіонах України збільшувалась і буде збільшуватися, причому в середньому зростання до середини поточного століття у порівнянні з кінцем минулого становитиме приблизно 1,2 °С. Якщо у майбутньому реалізується так званий помірний сценарій А1В – зміни в опадах будуть неістотними, а за несприятливого сценарію А2 в західних, центральних та північних областях України річна кількість опадів збільшиться приблизно на 10% [7]. Треба відзначити, що наведені відомості стосуються результатів тільки за однією моделлю і, відповідно, не можуть вважатися достатньо визначеними.

Краковська та ін. [8], використовуючи ансамбль з 10 моделей проекту ENSEMBLES, показали, що у порівнянні з періодом 1961-90 років приземна температура в Україні до середини 21-го століття по окремих місяцях та областях може збільшитися аж на 3,0 °С, а у середніх річних значеннях – від 1,6 до 2,1 °С. Причому найбільше таке зростання температури простежуватиметься на північному сході, сході та півдні України. В іншій роботі [9] тих же авторів, яка стосувалася опадів та в якій використовувався ансамбль з 4 моделей проекту ENSEMBLES, зазначається, що місячні суми опадів зміняться на середину століття на території України від –18 до +37%. Причому максимальне збільшення очікується переважно у західному та північному регіонах взимку та навесні, а зменшення – у центральному, східному та південному регіонах влітку та восени.

Отже, головним висновком з попередніх досліджень є підвищення температури повітря в усій Україні в найближчому майбутньому, а кількість опадів буде змінюватись залежно від регіону. Проте, можна висловити й певні зауваження стосовно невизначеності результатів внаслідок використання ансамблю з невеликої кількості моделей, незважаючи, навіть, на те, що ці моделі були відповідним чином відібрані конкретно для території України [12].

Тільки в останні роки з'явилися результати моделювання за проектом CORDEX [13] за великою кількістю моделей та з невеликим кроком сітки в горизонтальній площині, що дозволяє визначити майбутні температури та опади з достатньою точністю і визначеністю. Вони вже широко використовуються для аналізу характеристик майбутнього клімату (див. [14]). Саме тому ця стаття має на меті виявлення особливостей змін температури повітря та опадів для різних регіонів України у найближче тридцятиліття за результатами моделювання ансамблю моделей CORDEX.

2. ДАНІ ПРОЕКТУ CORDEX

Як вже зазначалося вище, як вхідна інформація для розрахунків майбутньої температури повітря та опадів використовувались результати моделювання за проектом CORDEX. З чотирьох можливих сценаріїв у цій статті брався лише RCP4.5 [15], для якого у січні 2020 року кількість симуляцій в ансамблі, які надавали середньодобову приземну температуру повітря з роздільною здатністю ~12,5 км у горизонтальній площині для Європи, становила 22. Нагадаємо, що за сценарієм RCP4.5 передбачається збільшення радіаційного форсингу на 4,5 Вт/м² у порівнянні з передіндустріальною епохою і найбільших величин викиди парникових газів сягнуть у 2030-50 роки.

Для подальшого аналізу було відібрано 16 моделювань (симуляцій) за 7 регіональними кліматичними моделями (табл. 1). Для кожної симуляції дані про середньодобову, мінімальну та максимальну приземну температуру повітря використовувались для розрахунку середніх за тридцять років (період 2021-2050) місячних величин. Таким же чином для кожної симуляції розраховувались місячні суми опадів.

Графічно подати результати для усіх симуляцій одночасно зручно за допомогою так званої коробчастої діаграми або «ящиків з вусами». Верхня і нижня кришки «ящика» задають положення кватилей 25% і 75% та визначають область 50% значень навколо центру розподілу для 16 симуляцій.

Положення медіани (лінія всередині «ящика») щодо кришок визначає асиметрію без урахування аномальних значень. Верхній і нижній «вуса» визначають максимальне та мінімальне значення відповідно серед симуляцій. Зазначимо також, що чим більше розмір ящика, тим більше є невизначеність майбутнього клімату.

Таблиця 1 – Регіональні кліматичні моделі, результати яких використані у статті

Індекс моделі	Інститут	Регіональна модель	Глобальна модель
CLMcom1	Climate Limited-area Modelling Community	CLMcom-CCLM4-8-17 ¹	CNRM-CM5 ⁸
CLMcom2			ICHEC-EC-EARTH ⁹
CLMcom3			MOHC-HadGEM2-ES ¹⁰
CLMcom4			MPI-ESM-LR ¹¹
DMI1	Danish Meteorological Institute	DMI-HIRHAM5 ²	ICHEC-EC-EARTH ⁹
DMI2			NCC-NorESM1-M ¹²
KNMI1	Royal Netherlands Meteorological Institute	KNMI-RACMO22E ³	ICHEC-EC-EARTH ⁹
KNMI2			MOHC-HadGEM2-ES ¹⁰
MPI	Max Planck Institute for Meteorology	MPI-CSC-REMO2009 ⁴	MPI-ESM-LR ¹¹
SMHI1	Swedish Meteorological and Hydrological Institute	SMHI-RCA4 ⁵	CNRM-CM5 ⁸
SMHI2			ICHEC-EC-EARTH ⁹
SMHI3			IPSL-CM5A-MR ¹³
SMHI4			MOHC-HadGEM2-ES ¹⁰
SMHI5			MPI-ESM-LR ¹¹
CNRM	National Centre for Meteorological Research (France)	ALADIN63 ⁶	CNRM-CM5 ⁸
IPSL	Institute Pierre-Simon Laplace	WRF381 ⁷	IPSL-CM5A-MR ¹³

Примітки:

1. <https://wiki.coast.hzg.de/clmcom/clm-community-home-92864627.html>
2. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr06-17.pdf>
3. <http://bibliotheek.knmi.nl/knmipubTR/TR302.pdf>
4. <https://www.remo-rcm.de/059966/index.php.en>
5. https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.90275!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/RMK_116.pdf
6. <http://www.umr-cnrm.fr/aladin/>
7. <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model>
8. <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article126&lang=en>
9. <https://www.ichec.ie/partnerships/state-supported/ec-earth-climate-simulations-irelands-contributions-cmip6>
10. <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/climate-models/hadgem2>
11. <https://mpimet.mpg.de/en/science/models/mpi-esm/>
12. <https://folk.uib.no/ngfhd/EarthClim/index.htm>
13. <http://cmc.ipsl.fr/ipsl-climate-models/ipsl-cm5/>

Результати представлені для п'яти обласних центрів України – Києва, Львова, Кропивницького, Харкова та Одеси, які умовно можна вважати репрезентативними для відповідних регіонів України, хоча у подальшому потрібно зробити аналіз для усєї України. Зазначимо, що для метеорологічних станцій бралися дані з найближчого вузла розрахункової сітки регіональної кліматичної моделі, причому ці сітки можуть відрізнятися одна від іншої залежно від симуляції.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1–4 подані у вигляді коробчастих діаграм суми опадів, середні, максимальні та міні-

мальні температури повітря по місяцях року, осереднені за період 2021–2050 років для зазначених вище обласних центрів України. Пояснимо нанесене на цих рисунках на прикладі місячної суми опадів для Києва. Для січня 8 з 16 симуляцій (тобто 50 %) показують, що місячна сума опадів складатиме від приблизно 45 до 60 мм. Мінімальна кількість опадів з ансамблю симуляцій становитиме приблизно 38 мм, а максимальна – 62 мм. Медіана становитиме приблизно 52 мм. На цих рисунках наведені також середні значення за ансамблем симуляцій у вигляді чорних крапок (які, у більшості випадків, майже збігаються з медіанами) та середні значення метеорологічних величин, розраховані для періоду 1961–1990 років (суцільні лінії), кліматична норма у минулому, з якою зазвичай порівнюють

результати моделювання майбутнього клімату.

Отже, за кліматичними даними річний хід опадів в Україні має два добре виражених максимуми – влітку та взимку. Як правило літній максимум перевищує зимовий в півтора-два рази, за винятком Одеси, де вони майже однакові (див. рис. 1). У минулому літній максимум опадів спостерігався у липні і становив від 45 мм в Одесі до 100 мм у Львові.

Перше, на що можна звернути увагу на рис. 1, – для кожного регіону мінімальні значення з ансамблю 16 симуляцій набагато (в декілька разів) менші за кліматичні, а в Одесі одна з них показує майже цілковиту відсутність опадів у липні. Як виявилось, за двома симуляціями – CLMcom1 та CLMcom3 (див. табл. 1) – істотно занижуються опади в липні та серпні. Але, навіть якщо вилучити ці дві симуляції з ансамбля та побудувати коробчасту діаграму без них, як це зроблено на правій нижній панелі рис. 1, все одно велика кількість інших моделей показують істотне зменшення опадів в липні та серпні для Одеси. Тому було вирішено у подальшому аналізі використовувати результати ансамбля з усіх 16 симуляцій.

Отже, на рис. 1 можна побачити, що у найближчому майбутньому максимум теплого періоду спостерігатиметься у травні або червні і трошки зменшиться в усіх регіонах, за винятком Харкова. Також влітку рееструватиметься й найістотніше зменшення опадів в липні та серпні, причому в Києві, Кропивницькому та Одесі опади в липні зменшаться приблизно в 1,5 рази. Зимовий максимум, який зазвичай спостерігався у грудні, навпаки збільшиться або, принаймні, залишиться незмінним (Львів, Київ). Найбільше зростання опадів взимку спостерігатиметься у Харкові, в якому кількість опадів у грудні становитиме на 20 мм більше за кліматичну норму у минулому, і літній та зимовий максимуми опадів майже зрівняються за величиною. Найбільш невизначеними будуть місячні суми опадів влітку, особливо в Києві, де половина симуляцій показує величини, наприклад, в червні від 50 до 100 мм. Але, у цілому та в середньому по моделях рис. 1 свідчить про те, що опади в Україні збільшуватимуться для усього року за винятком літніх місяців. Особливо великим (іноді в півтора рази) це збільшення буде на сході України.

Середньомісячна температура повітря у найближчому майбутньому (рис. 2) буде збільшуватися за винятком квітня та травня, причому це буде характерним для усієї України. Найбільших змін зазнає середньомісячна температура взимку та влітку, а найменших весною та восени. Жодна

симуляція не показує майбутню температуру в січні та лютому нижчу за кліматичну норму у минулому, а середня по ансамблю перевищує цю норму у січні на 2,0–5,0 °С. Хоча, велике зростання січневої температури в Одесі може бути, насправді, впливом більш теплої в зимовий період водної поверхні Чорного моря. Температура в липні збільшиться на 2,5–3,5 °С і найбільшою буде на півдні України, сягаючи середніх за ансамблем значень ~24 °С. Також можна відзначити, що літня температура буде більше невизначеною, ніж зимова. Цікавим є також й те, що середньомісячна температура травня для усієї України буде або дорівнювати, або нижча за кліматичну норму у минулому, що є винятком з переважного підвищення температури у майбутньому.

Річний хід максимальної та мінімальної температур повітря (рис. 3 і 4), тобто температур вдень і вночі, відповідно, в цілому повторюють хід середньої температури повітря, але й для них можна визначити певні відмінності від поточного клімату.

На заході, півдні та у центрі України щонайменше 75% симуляцій надає додатну денну температуру протягом усього року (рис. 3). Отже, існує велика ймовірність того, що у цих регіонах опади взимку хоч й формуватимуть сніговий покрив, але він буде нестійким через танення у денні години доби. Найбільше підвищення температури у найбільш холодному місяці року, січні, спостерігатиметься в Одесі і, взагалі, жодна з моделей не надає взимку середньої температури вдень нижче 4,0 °С. Влітку денна температура підвищиться в усіх регіонах приблизно на 2,5 °С, сягаючи на сході України максимуму приблизно 28 °С у липні. Також можна відзначити достатньо велику невизначеність результатів моделювання максимальної температури в літні місяці.

Нічна температура в середньому за ансамблем та по усій Україні зазнає найбільших змін взимку (рис. 4). Наприклад, для Одеси в січні мінімальна температура у середньому підвищиться майже на 5,0 °С. Більше того, тільки 25% симуляцій показує нічну температуру у січні меншу за 0 °С. Отже, на півдні України існує велика ймовірність того, що навіть ті опади, які випадатимуть у вигляді снігу вночі, не будуть накопичуватись у вигляді снігового покриву і відразу ж тануть. Також можна звернути увагу на те, що нічна температура в Києві у квітні, травні та червні буде нижча за кліматичну норму у минулому.

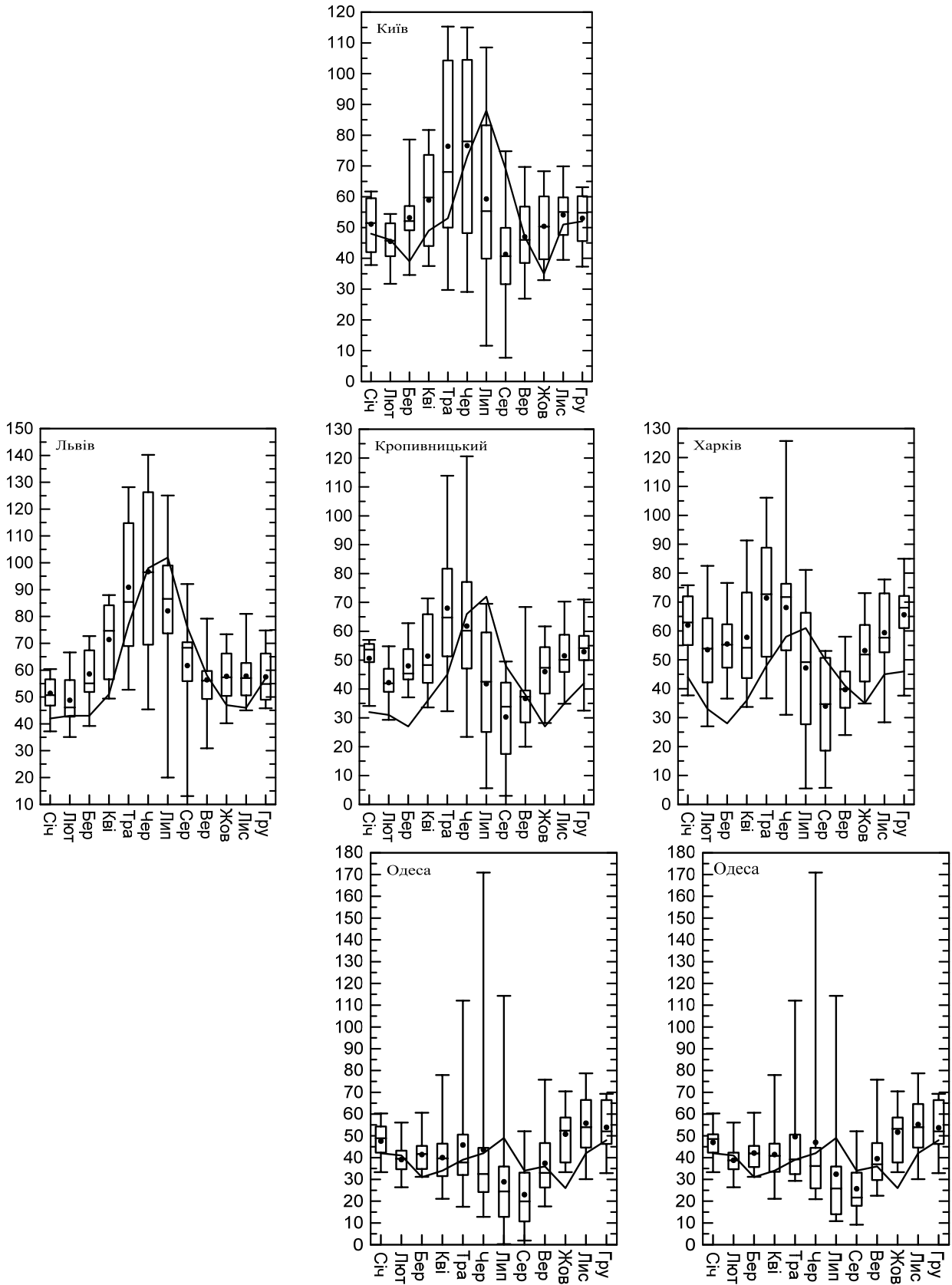


Рис. 1 – Місячні суми опадів за період 2021-2050 рр. у Києві, Одесі, Кропивницькому, Львові та Харкові у вигляді «ящика з вусами» (дивись пояснення у тексті статті) за результатами ансамблю 16 моделей (14 моделей для Одеси у нижньому правому куті) проекту CORDEX (Вісь X – місяці року; вісь Y – кількість опадів, мм)

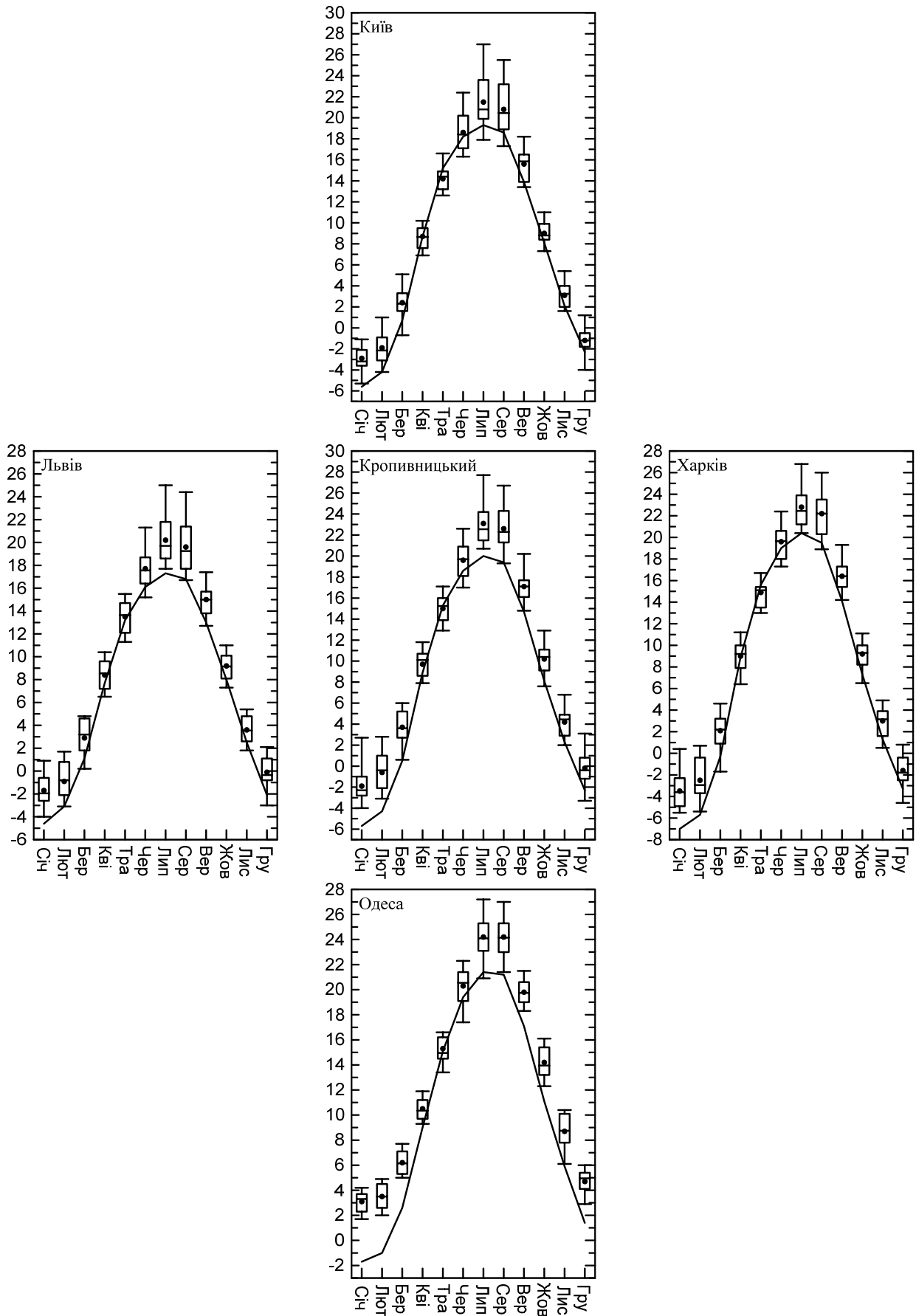


Рис. 2 – Так само, як на рис. 1, але для середньомісячних температур повітря

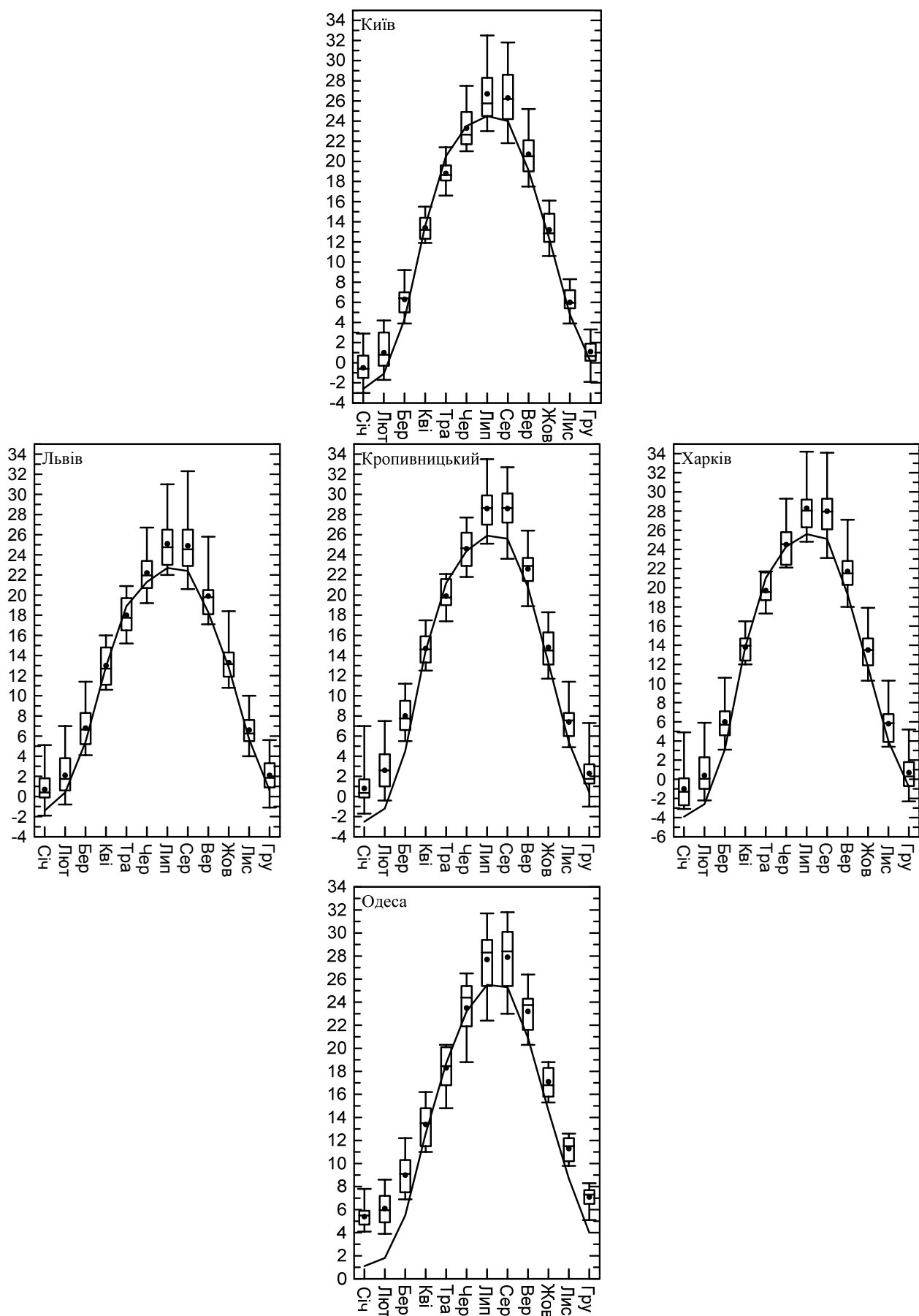


Рис. 3 – Так само, як на рис. 1, але для середньомісячних максимальних температур повітря

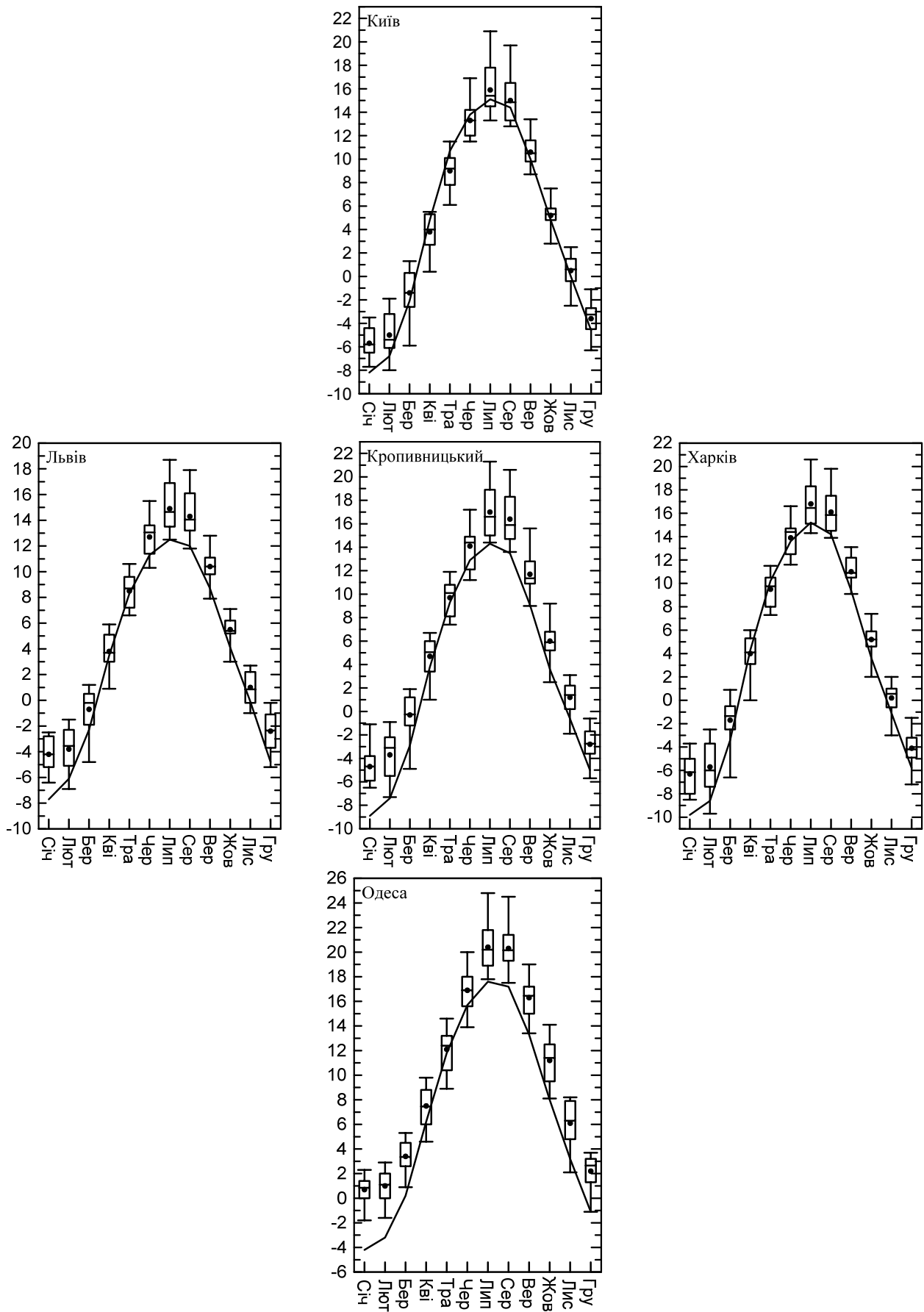


Рис. 4 – Так само, як на рис. 1, але для середньомісячних мінімальних температур повітря

Якщо порівнювати результати, наведені у цій статті, з отриманими раніше для ансамблю моделей проекту ENSEMBLES (див., напр., [8, 9]), можна відзначити їх відносно добру узгодженість між собою. Найбільші відмінності стосуються екстремальних значень, на кшталт, мінімальних опадів влітку або істотного підвищення температури взимку на півдні України.

4. ВИСНОВКИ

Те, що клімат в Україні змінюється, доведено великою кількістю наукових робіт, тільки частина з яких цитувалась в цій статті. Результати здійсненого в цій статті дослідження також свідчать про те, що в найближчому майбутньому відбуватиметься подальше збільшення температури повітря та відзначатимуться зміни в режимі опадів по усій Україні.

Хоча й потрібно мати на увазі велику невизначеність опадів у літні місяці, характерною рисою майбутнього клімату може бути зсув максимуму опадів влітку з липня на травень. Більше того, на півдні України кількість опадів влітку може істотно зменшитися. Враховуючи й збільшення температури повітря в цьому регіоні, можна припустити перехід до середземноморського клімату, який характеризується сухим та спекотним літом і вологою та теплою зимою. Також, на заході, півдні та у центрі України взимку температура вдень з великою ймовірністю не буде опускатися нижче нуля, що свідчить про відсутність снігового покриву у цих регіонах. На півдні України будуть спостерігатися додатні нічні температури взимку, що згадали свідчить про невелику ймовірність опадів у вигляді снігу протягом холодного періоду року.

Результати, наведені в цій статті, були отримані за ансамблем моделей CORDEX, який є найсучаснішою симуляцією майбутнього клімату і має роздільну здатність $\sim 12,5$ км у горизонтальній площині, що дозволяє якнайкраще моделювати опади. Проте, використовувалися дані тільки для одного сценарію RCP4.5 та обмеженої кількості пунктів в Україні. Отже, надалі треба зробити подібний аналіз для сценаріїв RCP2.6 і RCP8.5 та усієї території України. Також, цікавим може виявитися аналіз впливу майбутніх змін циркуляції атмосфери на повторюваність екстремальних опадів, посух та хвиль тепла, як це зроблено, наприклад, в [16, 17].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
2. Pietrapertosa F. et al. Climate change adaptation policies and plans: A survey in 11 South East European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2018. Vol. 81(2). Pp. 3041–3050. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.116>
3. Хохлов В. Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2007. № 2, С. 35–42.
4. Хохлов В. М., Латиш Л. Г., Цимбалюк К. С. Можливі зміни температурного режиму в Україні у 2011–2025 роках. *Вісник Одеського державного екологічного університету.* 2009. Вип. 8. С. 70–78.
5. Латиш Л. Г., Хохлов В. М. Зміни режиму вологовмісту ґрунту в Україні у 2011–2025 роках. *Фізична географія та геоморфологія.* 2009. Вип. 57. С. 43–49.
6. Хохлов В. М., Бондаренко В. М., Латиш Л. Г. Просторовий розподіл аномалій опадів в Україні у 2011–2025 роках. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2009. № 5. С. 54–62.
7. Хохлов В. М., Єрмоленко Н. С. Майбутні зміни клімату та їх вплив на режим опадів та температури в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал.* 2015. № 16. С. 76–82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>
8. Проекції приземної температури та відносної вологості повітря в областях України до середини XXI ст. за даними ансамблів регіональних кліматичних моделей / С. В. Краковська та ін. *Геоінформатика.* 2018. № 3(67). С. 62–77.
9. Зміни поля опадів в Україні у XXI ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей / С. В. Краковська та ін. *Геоінформатика.* 2017. № 4(64). С. 62–74.
10. Balabukh V. et al. Extreme weather events in Ukraine: occurrence and changes. *Extreme Weather* / Edited by P. J. Sallis. London, UK: IntechOpen, 2018. Pp. 85–106.
11. Проекції изменения климатических средних показателей экстремальности термического режима к середине XXI века в Украине / Балабух В. А. и др. *Природопользование.* 2018. № 1. С. 97–113.
12. Краковская С. В. Оптимальный ансамбль региональных климатических моделей для оценки изменений температурного режима в Украине. *Природопользование.* 2018. № 1. С. 114–126.
13. Jacob D. et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change.* 2014. Vol. 14(2). Pp. 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
14. El Hadri Y. et al. Wind energy land distribution in Morocco in 2021–2050 according to RCM simulation of CORDEX-Africa project. *Arabian Journal of Geosciences.* 2019. Vol. 12(24). Article 753. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4950-7>
15. Moss R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature.* 2010. Vol. 463. Pp. 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
16. Loboda N. S. et al. Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology.* 2006. Vol. 322(1–4).

- Pp. 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.029>
17. Shevchenko O. et al. Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2014. Vol. 34(5), Pp. 1642-1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

REFERENCES

1. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (2014). Geneva, Switzerland: IPCC.
2. Pietrapertosa, F. et al. (2018). Climate change adaptation policies and plans: A survey in 11 South East European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), pp. 3041-3050. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.116>
3. Khokhlov, V.N. (2007). [Quantitative description of European climate change during second half of XX century]. *Ukr. gidrometeorol. ž.* [Ukrainian hydrometeorological journal], 2, pp. 35-42. (in Russ.)
4. Khokhlov, V.M., Latysh, L.H. & Tsymbaliuk, K.S. (2009). [Possible thermal condition changes in Ukraine in 2011-2025]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa State Environmental University]*, 8, pp. 70-78. (in Ukr.)
5. Latysh, L.H. & Khokhlov, V.M. (2009). [Soil moisture content condition changes in Ukraine in 2011-2025]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia [Physical Geography and Geomorphology]*, 57, pp. 43-49. (in Ukr.)
6. Khokhlov, V.M., Bondarenko, V.M. & Latysh, L.H. (2009). [Spatial distribution of precipitation anomalies in Ukraine in 2011-2025]. *Ukr. gidrometeorol. ž.* [Ukrainian hydrometeorological journal], 5, pp. 54-62. (in Ukr.)
7. Khokhlov, V.M. & Yermolenko, N.S. [Future climate change and it's impact on precipitation and temperature in Ukraine]. *Ukr. gidrometeorol. ž.* [Ukrainian hydrometeorological journal], 16, pp. 76-82. (in Ukr.) <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10>
8. Krakovska, S.V. et al. (2018). [Projections of air temperature and relative humidity in Ukraine regions to the middle of the 21st century based on regional climate model ensembles]. *Heoinformatyka [Geoinformatika]*, 3(67), pp. 62-77. (in Ukr.)
9. Krakovska, S.V. et al. (2017). [Changes in precipitation distribution in Ukraine for the 21st century based on data of regional climate model ensemble]. *Heoinformatyka [Geoinformatika]*, 4(64), pp. 62-74. (in Ukr.)
10. Balabukh V. et al. (2018). Extreme weather events in Ukraine: occurrence and changes. In: Sallis, P. J. (ed.) *Extreme Weather*. London, UK: IntechOpen, pp. 85-106.
11. Balabukh V. et al. (2018). [Projections of changes climatic mean and extreme parameters of thermal regime by the middle of the 21st century in Ukraine]. *Prirodopolzovaniye [Nature Management]*, 1, pp. 97-113. (in Russ.)
12. Krakovska, S.V. (2018). [Optimal ensemble of regional climate models for the assessment of temperature regime change in Ukraine]. *Prirodopolzovaniye [Nature Management]*, 1, pp. 114-126. (in Russ.)
13. Jacob, D. et al. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), pp. 563-578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
14. El Hadri, Y. et al. (2019). Wind energy land distribution in Morocco in 2021–2050 according to RCM simulation of CORDEX-Africa project. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(24), Article 753. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4950-7>
15. Moss, R.H. et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, pp. 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
16. Loboda, N.S. et al. (2006). Using non-decimated wavelet decomposition to analyse time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation. *Journal of Hydrology*, 322(1-4), pp. 14-24. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.029>
17. Shevchenko, O. et al. (2014) Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, 34(5), pp. 1642-1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION REGIME IN UKRAINE IN 2021-2050 BY CORDEX MODEL ENSEMBLE

M. S. Zamfirova, V. M. Khokhlov

Odessa State Environmental University,
Ukraine, 65016, Odesa, Lvivska St., 15, khokhlov@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>

Global temperatures over the period of 2081–2100 are expected to rise by 0.3–4.8 °C compared to the period of 1986–2005. According to the previous studies, the average annual air temperature in all regions of Ukraine will keep increasing in the near future and the maximum increase in precipitation is expected mainly in the western and northern regions during winter and spring, whereas the decrease in precipitation will be registered in the central, eastern and southern regions during summer and autumn. This article aims to identify the features of changes in air temperature and precipitation for different regions of Ukraine in 2021–2050 based on the modelling results of the ensemble of CORDEX models as per the RCP4.5 scenario. 16 simulation runs for 7 regional climate models were selected for the analysis and the results were presented for five regional centers of Ukraine: Kyiv, Lviv, Kropyvnytskyi, Kharkiv and Odesa.

It is shown that future monthly precipitation in all regions tends to increase by an average of 20–40 mm during autumn, winter and spring, whereas the decrease is expected to occur in summer. According to some models, the monthly precipitation will be close to zero in the Southern Ukraine in July and August, which is typical for the Mediterranean climate. Compared to

the period of 1961–1990, the average monthly temperature will undergo small changes (up to 1 °C) in spring and autumn, while the temperature in summer and winter will increase by 2.5–3.5 °C. In Odesa, in contrast to the present-day situation, a positive average monthly air temperature will be expected to be recorded throughout the whole year, and only 25% of the runs show negative average monthly minimum temperatures. In the Northern Ukraine, the average monthly minimum and maximum temperatures in winter will increase by 2.0–2.5 °C, and in summer only the maximum air temperature will increase significantly.

Thus, we can assume a change in the regime of moisture supply in Ukraine over the next thirty years. One can also assume a high probability of snow cover absence throughout the whole winter in the Southern Ukraine as a result of positive temperatures.

Keywords: climate change; air temperature; precipitation; seasonal changes; CORDEX

РЕЖИМ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ В УКРАИНЕ В 2021-2050 ГОДАХ ПО ДАННЫМ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ CORDEX

М. С. Замфирова, В. Н. Хохлов

*ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, khokhlovv@odeku.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8315-8636>*

Для периода 2081–2100 годов по сравнению с 1986–2005 годами ожидается повышение глобальной температуры на 0,3–4,8 °C. По результатам предыдущих исследований, в ближайшем будущем среднегодовая температура воздуха во всех регионах Украины будет увеличиваться, а максимальное увеличение количества осадков ожидается преимущественно в западном и северном регионах зимой и весной, и уменьшение – в центральном, восточном и южном регионах летом и осенью. Целью этой статьи является выявление особенностей изменений температуры воздуха и осадков для различных регионов Украины в 2021–2050 годах по результатам моделирования ансамбля моделей CORDEX по сценарию RCP4.5. Для анализа были отобраны 16 симуляций 7 региональными климатическими моделями и результаты представлены для пяти областных центров Украины – Киева, Львова, Кропивницкого, Харькова и Одессы.

Показано, что будущие месячные суммы осадков во всех регионах имеют тенденцию к увеличению в среднем на 20–40 мм в течение осени, зимы и весны, а летом ожидается их уменьшение. На юге Украины по некоторым моделям в июле и августе осадки будут близки к нулю, что характерно для средиземноморского климата. По сравнению с 1961–1990 годами, небольшие изменения претерпевает среднемесячная температура воздуха весной и осенью (до 1 °C), тогда как увеличение температуры летом и зимой составит 2,5–3,5 °C. В Одессе, в отличие от настоящего периода, ожидается положительная среднемесячная температура воздуха в течение всего года, и только 25% симуляций показывают отрицательные среднемесячные минимальные температуры. На севере Украины рост среднемесячной минимальной и максимальной температуры зимой составит 2,0–2,5 °C, а летом существенно повышаться будет только максимальная температура воздуха.

Таким образом, можно предположить изменение характера влагообеспеченности территории Украины в ближайшие тридцать лет. Также можно предположить большую вероятность отсутствия снежного покрова в течение всей зимы на юге Украины в результате положительных температур.

Ключевые слова: изменения климата; температура воздуха; осадки; сезонный ход, CORDEX

Подання до редакції : 16. 03. 2020

Надходження остаточної версії : 19. 04. 2020

Публікація статті : 03. 07. 2020