

УДК: 551.582.

КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА РЕЖИМ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ І ОПАДІВ В УКРАЇНІ У ПЕРЕХІДНІ СЕЗОНИ

В. М. Хохлов, Г. О. Боровська, М. С. Замфірова

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

Оскільки сучасні дослідження свідчать про кліматичні зміни у всіх регіонах нашої планети, в тому числі й на території України, частота яких стрімко зростає протягом останніх десятиліть (зокрема відхиленням температури та деяких інших метеорологічних параметрів від значень кліматичної норми), їх вивчення вкрай важливе. Адже вони можуть призвести до змін характеру розподілу атмосферних опадів, що може спричинити недостатнє або надлишкове зволоження певних регіонів; тривалості вегетаційного періоду; водних ресурсів місцевого стоку; зменшення тривалості залягання стійкого снігового покриву та ін. Більшість наукових робіт за останні роки описують зміни в розподілі температурних характеристик та режимі опадів, адже вони є одними з основних показників стану кліматичної системи. Тому дана стаття має на меті виявлення особливостей змін температури повітря та опадів для всієї території України з 2021 по 2050 роки за результатами 16 симуляцій ансамблю моделей CORDEX на основі сценарію RCP4.5. Проект CORDEX є найсучаснішою симуляцією майбутнього клімату і має роздільну здатність ~12,5 км у горизонтальній площині, що дозволяє якнайкраще змоделювати досліджувані характеристики. Він об'єднує кліматичні проєкції в регіональному масштабі, які створені з використанням статистичних та динамічних методів. Отримані результати представлені для 177 міст України, які в даний час складають основу сучасної моніторингової мережі.

Виявлено, що кількість днів з опадами ≥ 5 мм в перехідні сезони зростатиме в середньому на 1-3 дні на місяць в залежності від регіону. Максимальні значення повторюваності кількості днів з опадами ≥ 5 мм спостерігаються на заході та поступово зменшуються в південному напрямку. У порівнянні з 1961–1990 роками, найбільш суттєвих змін зазнає кількість морозних днів з температурою повітря $\leq 0^\circ\text{C}$, яка відчутно зменшується за увесь досліджуваний період з півночі на південь. В квітні та жовтні для південних областей України розглянутий параметр дорівнює 0, це означає, що в дані місяці температура повітря для цих регіонів матиме додатні значення.

З вище сказаного прослідковується тенденція до потепління в перехідні сезони та зміна характеру вологозабезпеченості території України у найближчі тридцять років.

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

1. ВСТУП

Впродовж останніх десятиріч ми стали свідками змін часово-просторових характеристик переважної кількості метеорологічних величин, які більшість науковців пояснюють глобальними змінами кліматичної системи у зв'язку з антропогенною діяльністю людства [1,2]. Дані зміни спричинили часті прояви екстремальних погодних явищ, невластивих для нашої місцевості. Згідно П'ятого Національного повідомлення України з питань зміни клімату [3] на території нашої держави збільшились: амплітуда коливань температури повітря за короткі проміжки часу; кількість випадків затоплення значних ділянок суходолу; чисельність та інтенсивність стихійних лих (повені, зсуви ґрунту, лісові пожежі) та

нетипових для сьогодення екстремальних погодних явищ (тривалі зливи, засухи, урагани тощо), що призводять до вагомих економічних збитків та втрат серед населення. Тому вчені різних країн розробляють найбільш точні механізми прогнозу небезпечних явищ з метою їх попередження, пошуку стратегій пом'якшення та шляхів адаптації до змін клімату [4], і оскільки режим опадів та температури є одними з основних показників стану кліматичної системи, їх дослідження є важливим. Для повноти аналізу слід визначити тенденції змін досліджуваних характеристик, які вже відбулися у минулому, та прогнозу за кліматичними моделями, які можуть бути використані для кількісної оцінки майбутніх кліматичних змін.

Дослідженням температурного режиму та розподілу опадів на території України присвячено значну кількість наукових робіт (див. [5–14]), але деякі з них описують зміни, що вже відбулися [5,6], а інші використовували невелику кількість кліматичних моделей, що не дає змогу висвітлити отримані результати повною мірою. Оскільки зміни режиму температури та опадів на глобальному рівні є інтегральним показником регіональних кліматичних змін, саме тому дослідження глобального клімату доцільно проводити оцінивши кліматичні тенденції регіонального рівня. З цією метою в даній статті використовувались результати моделювання проекту CORDEX [15], які з'явилися в останні роки та представлені великою кількістю моделей (детальніше див. [16]). За рахунок малого кроку сітки в горизонтальній площині дані моделі дозволяють визначити майбутні характеристики з достатньою точністю. На основі вище сказаного, метою дослідження є виявлення змін в режимах температури та опадів в перехідні сезони для території України в регіональному масштабі з 2021 по 2050 рр. за результатами моделювання ансамблю моделей CORDEX, для визначення найбільш уразливих регіонів нашої країни до майбутніх змін клімату.

2. ДАНІ ТА МЕТОДОЛОГІЯ

Для передбачення майбутнього стану кліматичної системи міжурядова група експертів зі змін клімату створила сценарії викидів аерозолів та парникових газів у атмосферу, в основі яких збільшення кількості населення, стрімкий розвиток промисловості, науково-технічного прогресу, землекористування та енергетики [17]. Сценарії SRES (Спеціальний звіт про сценарії викидів) згруповані в чотири «сім'ї» (A1, A2, B1, B2) і в кожній з них дослідники розробили відмінні між собою сценарії майбутнього, беручи за основу динаміку глобальних викидів та концентрацію парникових газів в атмосфері [18].

В п'ятій доповіді IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), яка висвітлює найактуальніші наукові досягнення про клімат Землі, розглядалося чотири сценарії, що за різнопланових умов розвитку людства прогнозують концентрацію парникових газів та аерозолів до 2100 року. Їхні скорочені назви (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5) відповідають рівню випромінювальної здатності, яку буде досягнуто у 2100 році в порівнянні з 1750 роком (+2,6, +4,5, +6,0 та +8,5 Вт/м² відповідно) [19]. Науковці прогнозують, що пік викидів парникових газів у найсп-

риятливішому сценарії RCP2.6 відбудеться в період 2010-2020 років, після чого прогнозується їх спад. Пік викидів у сценарії RCP4.5 передбачають у 2030-2050 роки, а RCP6.0 – на 2070-2080 роки. Найнесприятливіший сценарій RCP8.5 прогнозує ріст концентрації парникових газів протягом століття [19,20].

Опираючись на вище сказане, в даній статті для розрахунку проєкції майбутніх опадів та температури застосовувалися результати моделювання проекту CORDEX з використанням 16 симуляцій, де за основу з чотирьох можливих сценаріїв брали один - RCP4.5, а для виявлення змін у середніх значеннях були застосовані спеціальні кліматичні індекси, рекомендовані Всесвітньою програмою з дослідження клімату [21], а саме FD (Морозна доба – доба з $TN < 0^{\circ}C$) та RR5 (Дощова доба – доба з $RR \geq 5$ мм).

Для кращого аналізу отримані результати порівнювалися з відповідними даними кліматичного кадастру України [22] за період з 1961 по 1990 роки. Саме тому розрахунки проводилися лише для трьох місяців (оскільки дані інших відсутні в кадастрі), а саме березня, квітня та жовтня, які відповідають перехідним сезонам, на тридцятирічний період з 2021 по 2050 роки для 177 метеорологічних станцій на території України.

3. ОПИС ТА АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як видно з рис. 1, кількість днів з температурами $0^{\circ}C$ та нижче за базовий період найбільше спостерігається у березні (оскільки ще зберігається зимовий характер розподілу температури) на південній межі Івано-Франківської та Закарпатської областей (ст. Пожижевська) і становить 26,3 днів та на південному заході Чернівецької області (ст. Селятин) з максимумом 28,5 днів (рис. 1а). Даний розподіл пояснюється кількістю променистої енергії, циркуляційними особливостями та близьким розташуванням Карпатських гір. Також вагомі значення відзначаються на півночі Чернігівської області (ст. Покошичі) – 25,2 днів за місяць. Найнижчі величини локалізуються на південному узбережжі Криму, мінімальне значення складає 4,4 дні за місяць (ст. Ялта), що обґрунтовується впливом відносно теплого Чорного моря та Кримських гір, які утворюють природний захист від вторгнення холодних повітряних мас з півночі та північного сходу.

У квітні (рис. 1б) відзначається інтенсивне підвищення температури повітря, про що

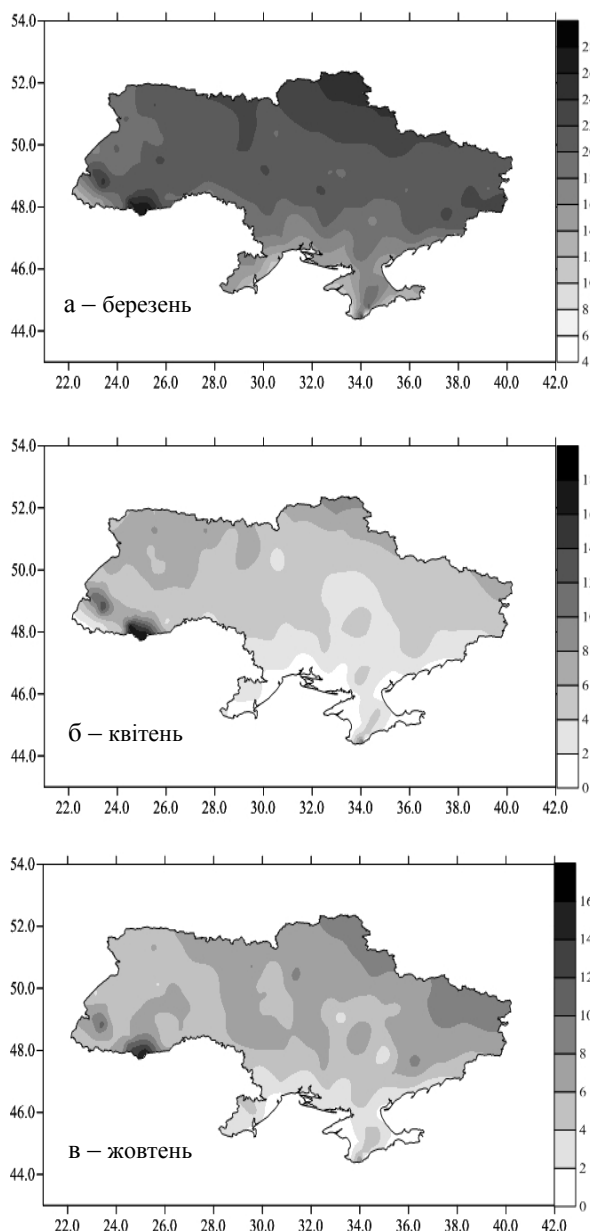


Рис. 1 – Кількість днів за місяць з температурою повітря $\leq 0^{\circ}\text{C}$ за даними кадастру 1961 – 1990 рр. для 177 станцій території України

Fig. 1 - Number of days per month with air temperature $\leq 0^{\circ}\text{C}$ according to the cadastre 1961 - 1990 for 177 stations of the territory of Ukraine

свідчить суттєве зменшення кількості морозних днів по всій країні в середньому на 8-12 днів. Зростання кількості безморозних днів відбувається в широтному напрямку. Максимум досліджуваного параметру знаходиться на ст. Пожижевська зі значенням 17,9 днів на місяць, в той час як на півдні Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей та узбережжі Криму дні з температурою повітря 0°C та нижче взагалі відсутні. Ситуація у жовтні (рис. 1в) мало відрізняється від квітневої. Більшість днів з від'ємними температурами, як і в

березні, спостерігається в Селятині – 16,2. В середньому на досліджуваній території дане значення коливається від 4 до 10 днів за місяць. На узбережжі Одеської області та в Криму холодні дні відсутні.

Результати моделювання (рис. 2) показують помітне зменшення досліджуваної характеристики за увесь розглянутий період. Так у березні (рис. 2а) відзначається поступове зменшення

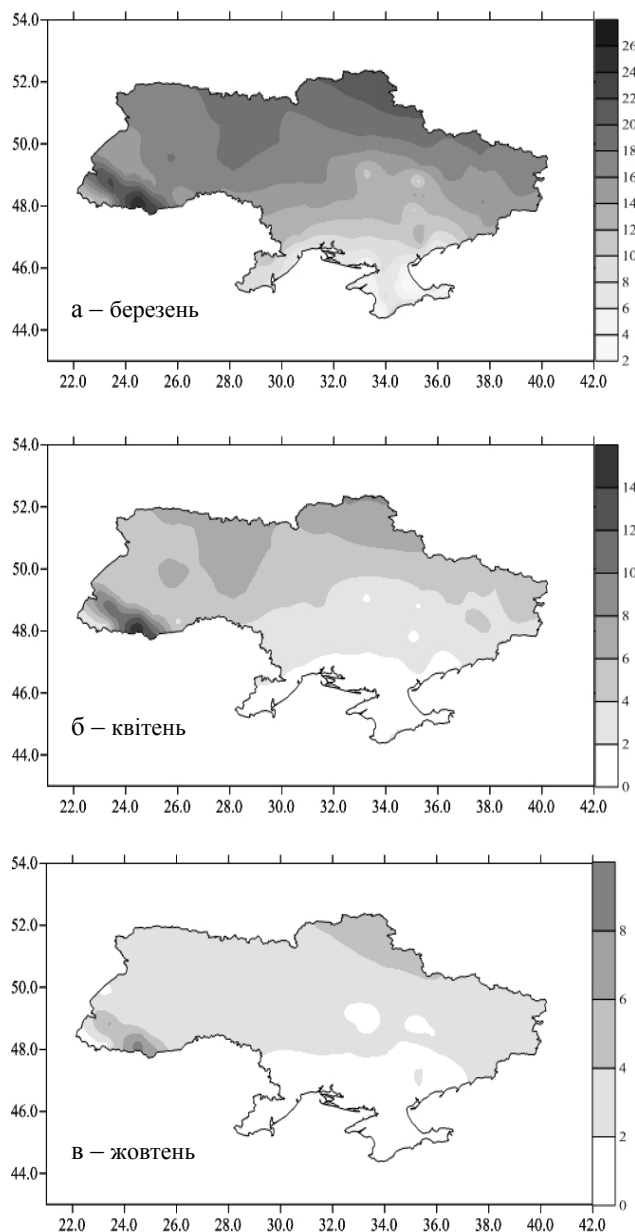


Рис. 2 – Кількість днів за місяць з температурою повітря $\leq 0^{\circ}\text{C}$ за період 2021-2050 рр. для 177 станцій території України за результатами ансамблю 16 моделей проекту CORDEX

Fig. 2 - Number of days per month with air temperature $\leq 0^{\circ}\text{C}$ for the period 2021-2050 for 177 stations of the territory of Ukraine according to the results of the ensemble of 16 models of the CORDEX project

кількості морозних днів з півночі на південь в широтному напрямку. Якщо за базовий період середня їх кількість по усій території України (за винятком крайнього півдня) становила 16 – 22 дні, то у майбутній проекції для північної частини склала 18 – 21, в центральній 10 – 16, на півдні до 8 днів за місяць. Максимум залишився на вище згаданій станції (25,5 днів), а мінімум (2 дні) прогнозується у Севастополі.

Помітно зросла зона з додатними температурами повітря у квітні (рис. 2б), захопивши південь країни та Кримський півострів. На решті території кількість морозних днів варіюватиме від 2 до 6 за місяць і лише в районі Українських Карпат – 10-14 днів.

Найбільш виразні зміни відображаються восени, а саме у жовтні (рис. 2в), де кількість днів з від'ємними температурами зменшується у двічі. Максимум відзначається на ст. Пожижевська та складає 8,9 днів. На більшій території країни цей показник складає 2 дні, на півночі Чернігівської та Сумської областей – 4, в Карпатах – 6-8 днів, а в Одеській, Миколаївській, Херсонській, Запорізькій областях, частині Кіровоградської і Дніпропетровської області, в Криму та на крайньому заході Закарпатської дорівнює нулю.

Як зазначалось вище, одним з важливих показників, який може свідчити про кліматичні зміни, та й загалом про стан кліматичної системи, є режим опадів. Тому далі розглянемо можливі зміни в режимі зволоження в найближчі тридцять років для території України.

На рис. 3 представлені карти кількості днів з опадами 5 мм і більше за базовий період. Як видно, звичному розподілу кількості вологих днів, що характерний для нашої країни за даними кадастру, властиві максимальні значення повторюваності на заході держави, в районі Українських Карпат (6-7 днів в залежності від місяця), що пояснюється особливостями рельєфу, адже у гірських районах виникає вимушене упорядковане підняття повітряних потоків, що сприяє розвитку циклогенезу.

На решті території число вологих днів коливається від 1 до 5, зменшуючись в південному напрямку (винятком є Кримські гори, де досліджувана характеристика варіює від 2 до 4 днів за досліджуваний період). Тобто на рівнинах північного заходу країни опадів випадає більше, а найменша кількість спостерігається на узбереж-

жі Чорного моря. Прослідковується поступове зменшення кількості днів з опадами із заходу і північного заходу на південь та південний схід.

Отримані результати моделювання (рис. 4) повторюють звичний розподіл кількості опадів притаманний для нашої країни. Однак можна відзначити незначний ріст з кількістю вологих днів ≥ 5 мм за розглянутий трьохмісячний період.

Так у березні (рис. 4а) максимум з 6,1 днів на ст. Пожжевська зростає до 9,2 на ст. Рахів, а в Кримських горах з 4,4 до 6,8 днів.

На решті території в залежності від місяця та регіону зростання відбувається на 1-2 дні.

У жовтні (рис. 4в) спостерігається ріст даного параметру на заході Кримського півострову на 2-3,5 дні, що можна пов'язати з посиленням циклонічної діяльності над Середземним морем та послаблення і припинення бризової циркуляції в цьому місяці.

4. ВИСНОВКИ

Кліматичні зміни на території України доведено великою кількістю наукових робіт, частина з яких розглядалась в даній статті. Розрахунки проводилися за допомогою 16 моделей проекту CORDEX за тридцятирічний період з 2021 по 2050 роки для 177 станцій України, які на даний час складають основу сучасної моніторингової мережі. Отримані результати свідчать про те, що характерними рисами майбутнього клімату може стати збільшення кількості днів з опадами на досліджуваній території в перехідні сезони, особливо на півночі та заході та суттєве зменшення морозних днів, зокрема в центральній та південній частині нашої держави. У жовтні температура повітря у всіх південних областях України матиме додатне значення, оскільки, прогнозується відсутність днів з від'ємними температурами.

Дослідження режиму температури та опадів у перехідні сезони для території України дають змогу зробити припущення, що характерний для південного узбережжя Криму середземноморський тип розповсюдиться вглиб країни, що суттєво зменшить континентальність клімату. Проте, щоб упевнитися в даному висновку, потрібно провести більше розрахунків, зокрема задіявши сценарії RCP2.6 і RCP8.5 та дослідивши зимовий і літній сезони.

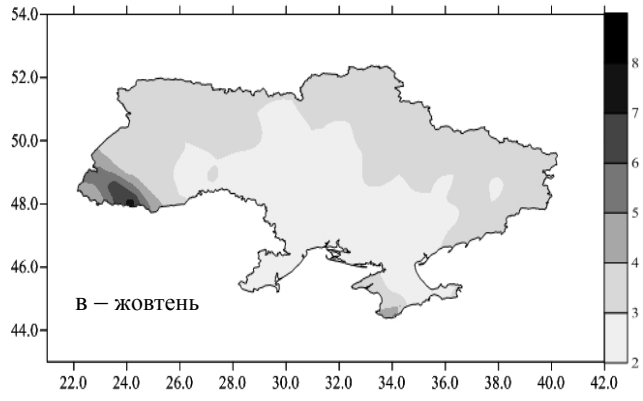
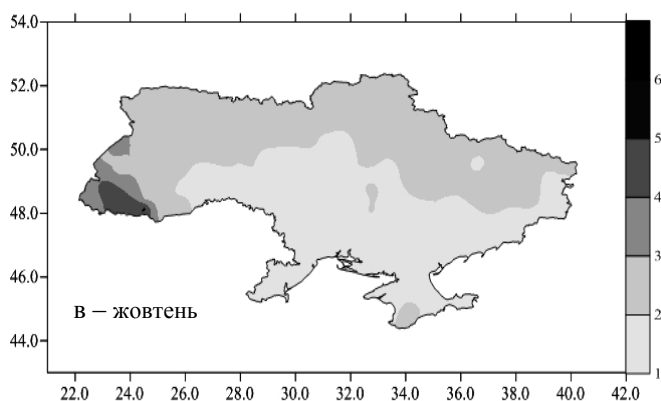
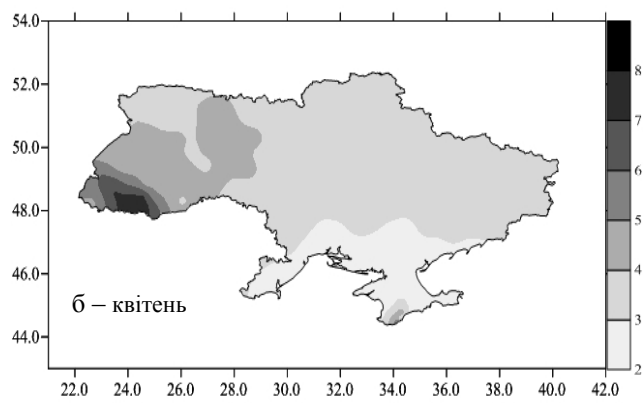
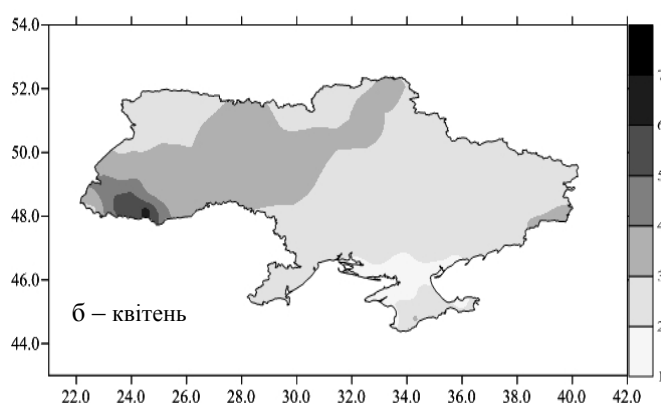
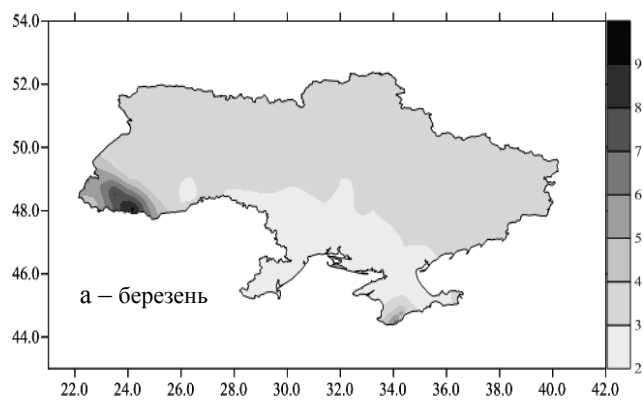
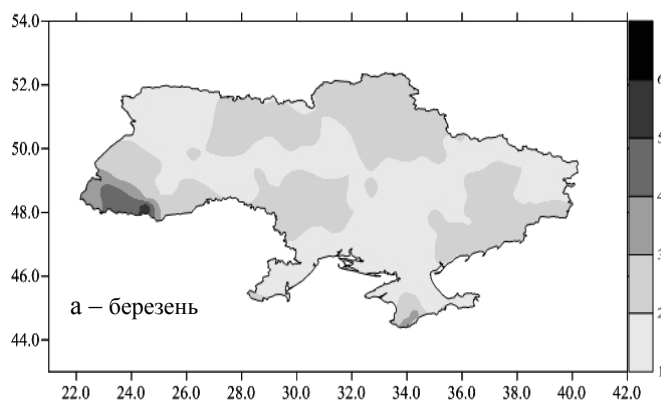


Рис. 3 – Кількість днів за місяць з опадами ≥ 5 мм за даними кадастру 1961 – 1990 рр. для 177 станцій території України

Fig. 3 - Number of days per month with precipitation ≥ 5 mm according to the cadastre 1961 - 1990 for 177 stations in Ukraine

Рис. 4 – Кількість днів за місяць з опадами ≥ 5 мм за період 2021-2050 рр. для 177 станцій території України за результатами ансамблю 16 моделей проекту CORDEX

Fig. 4 - Number of days per month with precipitation ≥ 5 mm for the period 2021-2050 for 177 stations on the territory of Ukraine according to the results of the ensemble of 16 models of the CORDEX project

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. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК), 2014-74с. URL: [https://necu.org.ua/wp-](https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf)

[content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf](https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf) (дата звернення 25.10.2020)

3. П'яте Національне повідомлення України з питань зміни клімату, 2009-367с. URL: https://ucn.org.ua/upl/ukr_nc5rev.pdf (дата звернення 20.10.2020)
4. Climate change adaptation policies and plans: A survey in 11 South East European countries / Pietrapertosa F. et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81, Part2. Pp. 3041-3050. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.116>

5. 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.
6. Хохлов В. Н. Количественное описание изменений климата Европы во второй половине XX века. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2007. № 2, С. 35-42.
7. Хохлов В. М., Латиш Л. Г., Цимбалюк К. С. Возможні зміни температурного режиму в Україні у 2011-2025 роках. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2009. Вип. 8, С. 70-78.
8. 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.
9. 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.
10. 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>
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Добова асиметрія кліматичних змін температури повітря в Україні / В. І. Осадчий та ін. *Український географічний журнал*. 2018. №3 (103). С. 21-30. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021>
15. 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>
16. Замфірова М. С., Хохлов В. М. Режим температури повітря та опадів в Україні в 2021-2050 роках за даними ансамблю моделей CORDEX. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. № 25. С. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>
17. Степаненко С. М. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України. Одеса: ТЕС, 2015. 520 с.
18. Rummukainen M. Changes in climate and weather extremes in the 21st century. *WIREs Climate Change*. 2012. Pp. 115-129.
19. Прокопенко К. О., Удова Л. О. Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату. *Економіка і прогнозування*. 2017. № 1. С. 92-107. http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2017_1_8.
20. Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research / L. Clarke, J. Edmonds, H. Jacoby et al; Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research. Washington, DC., USA. 2007. 154 p.
21. Klein Tank, A.M.G. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) project document, version 5. 2008. 39 p.
22. Кліматичний кадастр України (електронна версія). Київ: Державна гідрометеорологічна служба, УкрНДГМІ, Центральна геофізична обсерваторія, 2006.

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. *Otsinka vrazlyvosti do zminy klimatu: Ukraina. Klimatychnyi forum skhidnoho partnerstva (KFSP) ta Robocha hrupa hromadskykh orhanizatsii zi zminy klimatu (RH NUO ZK) [Climate change vulnerability assessment: Ukraine. Eastern Partnership Climate Forum (CFEP) and Climate Change NGO Working Group]*. (2014). Available at: https://necu.org.ua/wpcontent/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf (Accessed: 25.10.2020) (in Ukr.)
3. *Piate Natsionalne povidomlennia Ukrainy z pytan zminy klimatu [Fifth National Communication of Ukraine on Climate Change]*. (2009). Available at: https://ucn.org.ua/upl/ukr_nc5rev.pdf (Accessed: 20.10.2020) (in Ukr.)
4. 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>
5. Hrebenuk, N.P. & Barabash, M.B. (2004). Pro zminy temperatury povitria v mistakh Ukrainy u protsesi urbanizatsii [On changes in air temperature in the cities of Ukraine in the process of urbanization]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI [Proceedings of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute]*, 253, pp. 148-154. (in Ukr.)
6. 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.)
7. Khokhlov, V.M., Latysh, L.H. & Tsybaliuk, 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.)
8. 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.)
9. 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.)
10. Khokhlov, V.M. & Yermolenko, N.S. (2015). [Future climate change and its impact on precipitation and temperature in Ukraine]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 16, pp. 76-82. <https://doi.org/10.31481/uhmj.16.2015.10> (in Ukr.)
11. 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.)
12. 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.)
13. 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.
14. Osadchyi, V. et al. (2018). Dobova asymetriia

- klimatychnykh zmin temperatury povitria v Ukraini [Daily asymmetry of air temperature changes in Ukraine]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 3(103), pp. 21-30. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021> (in Ukr.)
15. 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>
16. Zamfirova, M.S. & Khokhlov, V.M. (2020). [Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 by CORDEX model ensemble]. *Ukr. gidrometeorol. ž. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 25, pp. 17-27. <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>
17. Stepanenko, S.M.(2015). *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy [Climate changes and its impact on sectors of the economy of Ukraine]*. Odesa: TES. (in Ukr.)
- 18 Rummukainen, M. (2012). Changes in climate and weather extremes in the 21st century. In: *WIRES Climate Change*, pp. 115-129.
19. Prokopenko, K.O. & Udova, L.O. (2017). Silske gospodarstvo Ukrainy: vyklyky i shliakhy rozvytku v umovakh zminy klimatu [Ukrainian agriculture: challenges and ways of development under the climate change]. *Ekonomika i prohnouzuvannia [Economy and Forecasting]*, 1, pp. 92-107. http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2017_1_8
- 20 Clarke, L. et al. (2007). *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research*. Department of Energy, Office of Biological & Environmental Research. 154 p.
21. Klein Tank. (2008). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). *European Climate Assessment & Dataset (ECA&D)*, 5, pp. 39.
22. *Klimatychnyi kadastr Ukrainy (elektronna versia) [Climate cadastre of Ukraine (electronic version)]*. (2006). Kyiv: State Hydrometeorological Service, UkrSRHMI, Central Geophysical Observatory. (in Ukr.)

CLIMATIC CHANGES AND THEIR INFLUENCE ON AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN UKRAINE DURING TRANSITIONAL SEASONS

V. M. Khokhlov, H. O. Borovska,
M. S. Zamfirova

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

Since modern research indicates climatic changes in all regions of our planet, including on the territory of Ukraine (in particular, the deviation of temperature and other meteorological parameters from the values of the climatic norm), their study is extremely important. After all, they can lead to changes in the nature of precipitation distribution, the length of the growing season, a decrease in the duration of the stable snow cover, local runoff water resources, etc. Most scientific works in recent years describe changes in the distribution of temperature characteristics and precipitation regime, because they are one of the main indicators of the state of the climate system. Therefore, the purpose of this article is to identify the features of changes in air temperature and precipitation for the entire territory of Ukraine from 2021 to 2050 based on the results of 16 simulations of the ensemble of CORDEX models based on the RCP4.5 scenario. The CORDEX project is a modern simulation of the future climate and has a resolution of ~ 12.5 km in the horizontal plane, which makes it possible to better simulate the characteristics under study. It integrates regional climate predictions that are generated using statistical and dynamic methods. The results obtained are presented for 177 cities of Ukraine, which currently form the basis of a modern monitoring network.

It was found that the number of days with precipitation ≥ 5 mm in transitional seasons increases on average by 1-3 days per month, depending on the region. The maximum values of the frequency of occurrence of the number of days with precipitation ≥ 5 mm are observed in the west and gradually decrease in the south. Compared to 1961-1990, the most significant changes occur with the number of frosty days with an air temperature of $\leq 0^{\circ}\text{C}$, which noticeably decreases during the study period from north to south. In April and October, for the southern regions of Ukraine, the considered parameter is equal to 0, which means that in these months the air temperature for these regions will have positive values.

From the above, there is a tendency towards warming in transitional seasons and a change in the nature of moisture supply to the territory of Ukraine in the next thirty years.

Keywords: climate change; air temperature; precipitation; CORDEX

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РЕЖИМ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ В УКРАИНЕ В ПЕРЕХОДНЫЕ СЕЗОНЫ

В. Н. Хохлов, Г.А. Боровская,
М.С.Замфирова

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

Поскольку современные исследования свидетельствуют о климатических изменениях во всех регионах нашей планеты, в том числе и на территории Украины (в частности отклонением температуры и других метеорологических параметров от значений климатической нормы), их изучение крайне важно. Ведь они могут привести к изменениям характера распределения осадков, протяженности вегетационного периода, уменьшения продолжительности залегания устойчивого снежного покрова, водных ресурсов местного стока и др. Большинство научных работ за последние годы описывают изменения в распределении температурных характеристик и режима осадков, ведь они являются одними из основных показателей состояния климатической системы. Поэтому целью данной статьи является выявления особенностей изменений температуры воздуха и осадков для всей территории Украины с 2021 по 2050 годы по результатам 16 симуляций ансамбля моделей CORDEX на основе сценария RCP4.5. Проект CORDEX является современной симуляцией будущего климата и имеет разрешение $\sim 12,5$ км в горизонтальной плоскости, что позволяет лучше смоделировать исследуемые характеристики. Он объединяет климатические прогнозы в региональном масштабе, которые созданы с использованием статистических и динамических методов. Полученные результаты представленные для 177 городов Украины, которые в настоящее время составляют основу современной мониторинговой сети.

Обнаружено, что количество дней с осадками ≥ 5 мм в переходные сезоны возрастает в среднем на 1-3 дня в месяц в зависимости от региона. Максимальные значения повторяемости количества дней с осадками ≥ 5 мм наблюдаются на западе и постепенно уменьшаются в южном направлении. По сравнению с 1961-1990 годами, наиболее существенные изменения происходят с количеством морозных дней с температурой воздуха $\leq 0^\circ\text{C}$, которая ощутимо уменьшается за исследуемый период с севера на юг. В апреле и октябре для южных областей Украины рассмотренный параметр равен 0, это означает, что в данные месяцы температура воздуха для этих регионов будет иметь положительные значения.

С результатов исследования прослеживается тенденция к потеплению в переходные сезоны и изменение характера влагообеспечения территории Украины в ближайшие тридцать лет.

Ключевые слова: изменение климата; температура воздуха; осадки; CORDEX

Подання до редакції : 10. 11. 2020
Надходження остаточної версії : 09. 12. 2020
Публікація статті : 17. 12. 2020