

### III. ПРИРОДНИЧА ГЕОГРАФІЯ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

УДК 551.581.1

*Семенова Інна Георгіївна,*  
доктор географічних наук, професор  
*Інтролігатор Олена Андріївна*

Одеський державний екологічний університет,  
м. Одеса, Україна, e-mail: in\_home@ukr.net  
Одеський державний екологічний університет,  
м. Одеса, Україна

#### *ТЕНДЕНЦІЇ МАЙБУТНІХ ЗМІН У РЕЖИМІ ОПАДІВ В УКРАЇНІ В ЛІТНІЙ ПЕРІОД 2020-2050 РР.*

*Мета дослідження.* Встановлення прогнозованого просторово-часового розподілу опадів в різних регіонах України в рамках кліматичного сценарію РТК8.5 за період 2020-2050 рр.

*Методика дослідження.* Для побудови часових рядів та виявлення трендів у прогнозованих опадах використані дані регіонального кліматичного моделювання проекту CORDEX. Тенденції виникнення в майбутньому несприятливих метеорологічних явищ, пов'язаних з опадами, оцінено з використанням кліматичних індексів екстремальності.

*Результати дослідження.* Протягом досліджуваного періоду не очікується значних змін у кількості опадів влітку в різних регіонах України, при цьому найбільша кількість опадів спостерігатиметься переважно в середині періоду, і в більшості областей очікується їх зменшення до 2050 р. Одночасно прогнозується поступове зростання інтенсивності опадів при скороченні їх тривалості, що призведе до подовження безперервних посушливих періодів.

*Наукова новизна.* Завдяки комбінації різних параметрів вперше отримана комплексна характеристика режиму опадів, яка дозволяє наочно оцінити можливі межі його коливань в Україні за умов найнесприятливішого кліматичного сценарію.

*Практична значимість.* Атмосферні опади є складовою ланкою вологооберту будь-якої території, визначаючи її кліматичні особливості і можливості господарської діяльності людини. Отримані оцінки можливих регіональних змін у режимі опадів можуть використовуватися при довгостроковому плануванні діяльності різних галузей економіки.

*Ключові слова:* кліматичний сценарій, режим опадів, кліматичний індекс екстремальності.

УДК 551.581.1

*Семёнова Інна Георгиевна,*  
доктор географічних наук, професор

Одесский государственный экологический  
університет, г. Одесса, Украина, e-mail:  
in\_home@ukr.net

*Інтролігатор Елена Андреевна*

Одесский государственный экологический  
університет, г. Одесса, Украина

#### *ТЕНДЕНЦИИ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ В РЕЖИМЕ ОСАДКОВ В УКРАИНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2020-2050 ГГ.*

*Цель исследования.* Выявление прогнозируемого пространственно-временного распределения осадков в различных регионах Украины в рамках климатического сценария РТК8.5 за период 2020-2050 гг.

*Методика исследования.* Для построения временных рядов и выявления трендов в прогнозируемых осадках использованы данные регионального климатического моделирования проекта CORDEX. Тенденции возникновения в будущем неблагоприятных метеорологических явлений, связанных с осадками, оценены с использованием климатических индексов экстремальности.

*Результаты исследования.* В течение исследуемого периода не ожидается значительных изменений в количестве осадков летом в разных регионах Украины, при этом наибольшее количество осадков будет выпадать преимущественно в середине периода и в большинстве областей ожидается их уменьшение до 2050 г. Одновременно прогнозируется постепенный рост интенсивности осадков при сокращении их продолжительности, что приведет к увеличению непрерывных засушливых периодов.

*Научная новизна.* Благодаря комбинации различных параметров впервые получена комплексная характеристика режима осадков, которая позволяет наглядно оценить возможные пределы его колебаний в Украине в условиях неблагоприятного климатического сценария.

*Практическая значимость.* Атмосферные осадки являются составляющим звеном влагооборота любой территории, определяя её климатические особенности и возможности хозяйственной деятельности человека. Полученные оценки возможных региональных изменений в режиме осадков могут быть использованы при долгосрочном планировании деятельности различных отраслей экономики.

*Ключевые слова:* климатический сценарий, режим осадков, климатический индекс экстремальности.

UDC 551.581.1

*Semenova Inna Georgiivna,*  
Doctor of Geography Sciences, Professor  
*Introliator Olena Andriivna*

Odessa State Environmental University,  
Odessa, Ukraine, e-mail: in\_home@ukr.net  
Odessa State Environmental University,  
Odessa, Ukraine

## *FUTURE TRENDS FOR PRECIPITATION REGIME IN UKRAINE DURING THE SUMMER PERIOD OF 2020-2050*

*Objectives.* The projected spatiotemporal distribution of precipitation in different regions of Ukraine under the climate scenario RCP8.5 for the period of 2020-2050 was defined.

*Methods.* The data of regional climate modeling of the CORDEX project have been used for construction of time series and detection of trends in projected precipitation. Future trends of adverse meteorological phenomena associated with precipitation are estimated using climate extreme indices.

*Results.* During the studied period insignificant changes in summer precipitation in different regions of Ukraine are expected, with the largest sum of precipitation mainly in the mid-period and its decreasing over most areas till 2050. At the same time, a gradual increase in the intensity of precipitation is predicted under a reduction in their duration, which will lead to prolonged consequence dry periods.

*Scientific novelty.* For the first time a comprehensive description of the precipitation regime has been obtained due to a combination of different parameters, which allows to simply estimating its possible fluctuations in Ukraine under the most adverse climate scenario.

*Practical significance.* Precipitation is the constituent element of the hydrologic cycle of any territory, defining its climatic features and capabilities of human activities. The

resulting estimates of possible regional changes in precipitation can be used for long-term planning of the activities in different sectors of the economy.

*Key words:* climate scenario, precipitation regime, climate extreme index.

*Постановка проблеми.* Відомо, що останні десятиліття характеризувалися більш високою температурою у поверхні Землі в порівнянні з будь-яким попереднім десятиліттям, починаючи з 1850 р., що, в свою чергу, відбилося у різноманітній зміні кількості опадів в різних регіонах. Також зросла й повторюваність екстремальних гідрометеорологічних явищ, пов'язаних з температурно-вологісним режимом, а саме, сильних опадів, хвиль тепла, посух та повеней, зокрема й в Україні [1-3].

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* При розробці перспективних оцінок зміни клімату в кліматичних моделях використовується інформація, яка закладена в сценаріях викидів парникових газів і забруднюючих повітря речовин. На теперішній час використовують стандартний набір сценаріїв, представлений в П'ятій Оціночній доповіді МГЕЗК, – репрезентативні траєкторії концентрацій (РТК) [4]. РТК визначаються приблизною сумарною величиною радіаційної дії в 2100 р. в порівнянні з 1750 р., яка є мірою результуючої зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на деяке зовнішнє збурення, при цьому позитивна радіаційна дія веде до потепління, а негативна радіаційна дія до похолодання.

З чотирьох сценаріїв один передбачає скорочення викидів з низьким рівнем дії (РТК2.6), два сценарії передбачають стабілізацію викидів (РТК4.5 і РТК6.0), а останній відповідає вельми високим рівням викидів парникових газів (РТК8.5). Загалом, в усіх сценаріях прогнозується зростання глобальної температури до 2100 р., але з різною інтенсивністю. Що стосується опадів, то прогнозовані тенденції вельми різноманітні, але існує висока ймовірність того, що різниця в середньорічних опадах між посушливими і вологими регіонами і різниця між вологим і сухим сезонами збільшиться над значною частиною Земної кулі під впливом зростання температури.

Для території України оцінки майбутніх змін клімату отримані переважно в рамках сюжетних ліній СДСВ (Спеціальна доповідь про сценарії викидів), які використовувалися до 2014 р., і за окремими кліматичними моделями, а не за їх ансамблями. Отримано, що зростання середньорічної температури в короткостроковій перспективі до 2030 р. очікується на рівні 0,4-0,5°C, при цьому найбільший ріст очікується у східних областях, найменший – у західних. Середньорічна кількість опадів також зростатиме в середньому на 7% по території країни [1].

*Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.* Наразі існує велика кількість даних кліматичного моделювання як за глобальними, так й регіональними моделями в рамках нових кліматичних сценаріїв РТК. Проекції опадів в різних сценаріях є дуже різноманітними,

що вимагає детального аналізу даних моделювання для певних регіонів, в тому числі й України, для отримання вірогідних оцінок можливих регіональних кліматичних змін та їх подальшого врахування в довгостроковому плануванні діяльності різних галузей економіки.

*Постановка завдання.* Метою даного дослідження є оцінка тенденцій майбутніх кліматичних змін у режимі опадів в Україні в літній сезон року з використанням даних кліматичного моделювання в короткостроковій перспективі на період 2020-2050 рр. в рамках жорсткого сценарію РТК8.5.

*Матеріали та методи дослідження.* Для оцінки прогнозованих змін у режимі опадів був обраний кліматичний сценарій РТК8.5, що описує проєкцію змін з найбільшими викидами шкідливих речовин. Для аналізу використані дані кліматичного моделювання проєкту CORDEX EUR-44, які отримані та попередньо оброблені за допомогою веб-сервісу Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>). Побудовані в дослідженні карти прогнозованої інтенсивності опадів за літній сезон (червень-серпень) в окремі роки ґрунтуються на середніх значеннях інтенсивності опадів по ансамблю прогностичних моделей. Для оцінки тенденцій змін опадів по окремим пунктам і місяцям використані дані моделі MPI-CSC-REMO2009 (експеримент MPI-M-MPI-ESM-LR r2i1p1) із зазначеного проєкту.

Для деталізації режиму майбутніх опадів в дослідженні проведений аналіз так званих кліматичних індексів екстремальності [5-6], які ґрунтуються на прогнозованих даних по опадах і надаються сервісом Climate Explorer.

а) Індекс *ALTCDD* (Maximum Number of Consecutive Days Per Year with Less Than 1 mm of Precipitation) – максимальна кількість послідовних днів у році з кількістю опадів менш ніж 1 мм ( $RR < 1$  мм). В загальному сенсі, цей індекс близький до поняття бездощових періодів та їх тривалості [7].

б) Індекс *SDII* (Simple Precipitation Intensity Index) – простий індекс інтенсивності опадів

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (1)$$

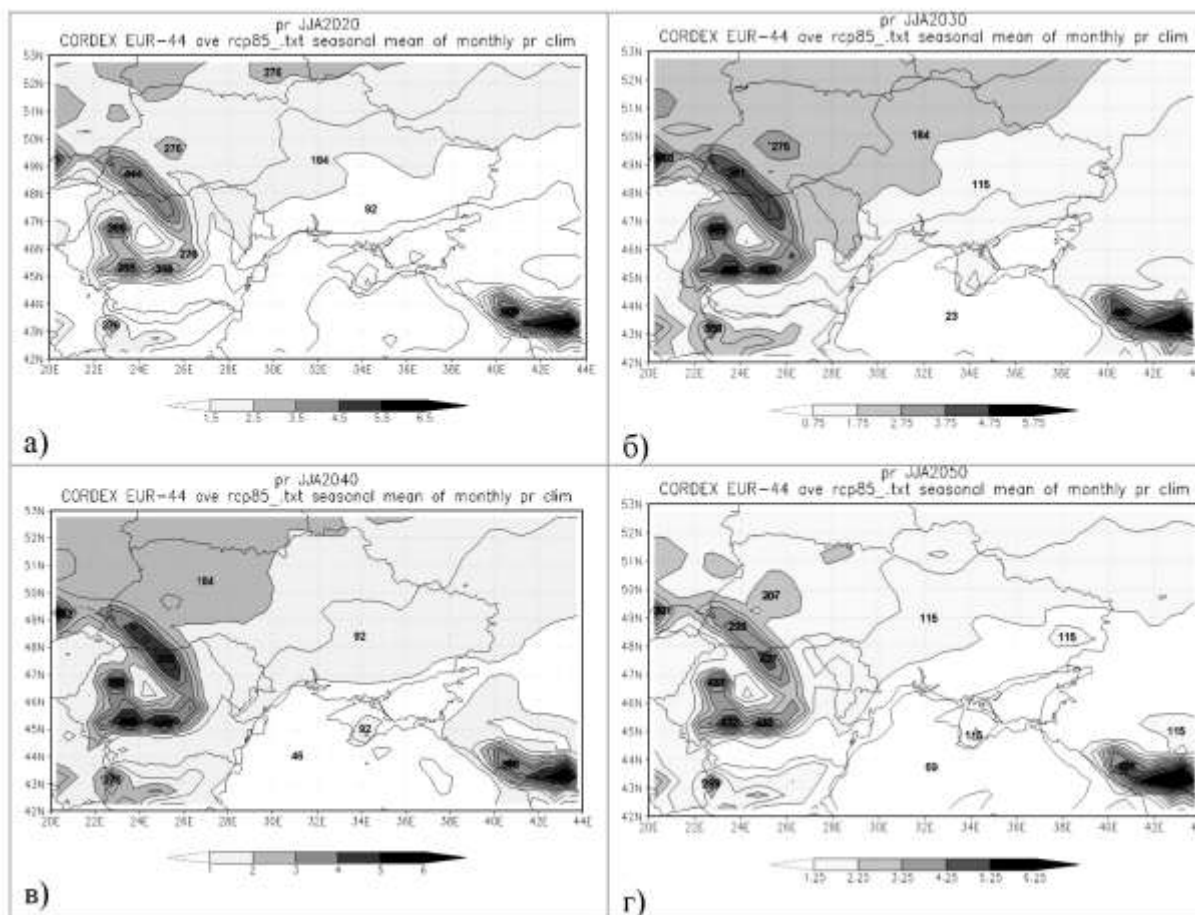
де  $RR_{wj}$  – денна кількість опадів у вологі дні  $w$  ( $RR \geq 1$  мм) у періоді  $j$ ;

$W$  – кількість вологих днів у періоді  $j$ .

в) Індекс *R95pTOT* (Annual total precipitation when daily precipitation is greater than the 95<sup>th</sup> percentile) – річна загальна сума опадів у дні, коли кількість опадів перевищувала 95-у процентіль. Порівняння в даному випадку ведеться з використанням даних кліматичного періоду 1961-1990 рр., за який обчислені значення 95-ї процентілі по опадах ( $R95p_j$ ) у дні з опадами ( $RR \geq 1$  мм). 95-а процентіль звичайно характеризує екстремальні значення тих чи інших метеорологічних величин, тому дослідження цього параметру дає змогу оцінити очікувані зміни у повторюваності небезпечних явищ, в даному випадку пов'язаних з опадами. Враховуючи,

що найбільша інтенсивність притаманна конвективним опадам, які характерні переважно для теплого періоду року в Україні [7], можна вважати з високим ступенем вірогідності, що річний індекс  $R95pTOT$  буде містити інформацію головним чином для літнього сезону, який розглядається в даному дослідженні.

*Результати дослідження.* Розглянемо просторовий розподіл по території України прогнозованих сум опадів за літній сезон (червень-серпень) через кожні 10 років, з 2020 по 2050 рр. (рис. 1). Можна бачити, що кількість опадів влітку майже по всій території України буде зменшуватися, але нерівномірно у часі та просторі. Так, від 2020 р. (рис. 1, а) до 2030 р. (рис. 1, б) кількість опадів у північних, центральних та західних майже не зміниться, у Криму та Карпатському регіоні зменшиться на 17% та 38% відповідно, а на півдні та сході зростатиме на 25% та 17% відповідно. Від 2030 р. (рис. 1, б) до 2040 р. (рис. 1, в) прогнозується зменшення кількості опадів на території усїєї країни від 7% (Карпати) до 46% (північ), окрім заходу, де вона майже не зміниться.



*Рис. 1. Карти прогнозованих сезонних (червень-серпень) сум опадів (мм): а) 2020 р.; б) 2030 р.; в) 2040 р.; г) 2050 р.*

Від 2040 р. (рис. 1, в) до 2050 р. (рис. 1, г) кількість опадів зростатиме на півночі, на Хмельниччині, у центрі країни та на Кримському

півострові на 15%, 13%, 25% та 25% відповідно. На півдні, заході, сході та в Карпатському регіоні очікується зниження кількості опадів в межах 5-38%.

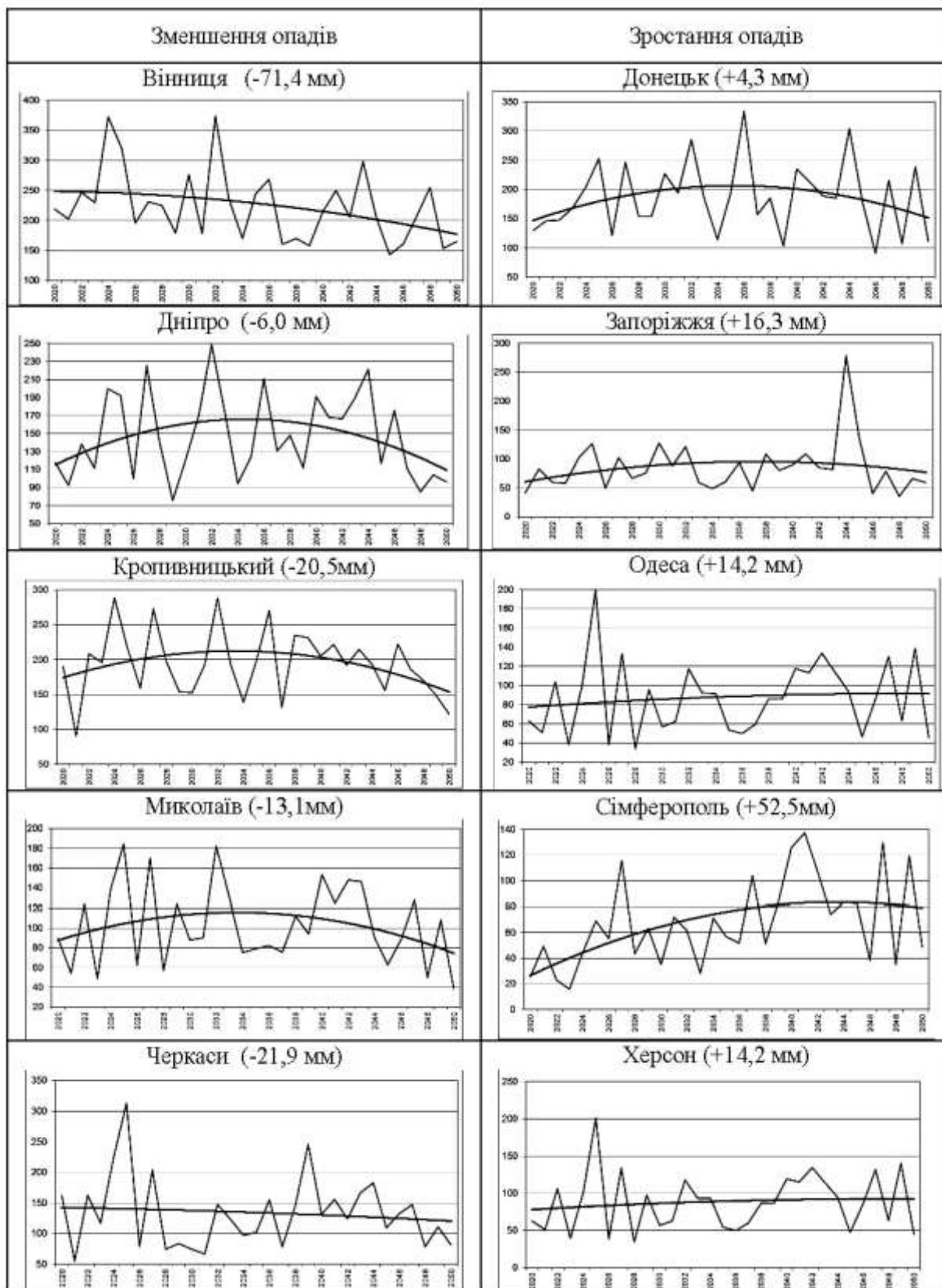


Рис. 2. Графіки часового ходу кількості сум опадів по станціях України в літній період 2020-2050 рр. (з поліноміальним трендом)

Для оцінки тенденцій змін опадів по окремих пунктах і місяцям проаналізовано часовий хід сумарної кількості літніх опадів по роках досліджуваного періоду. На рис. 2 представлені графіки часового ходу кількості опадів окремо по пунктах, де прогнозована кількість опадів буде зростати або зменшуватися відповідно, за поліноміальним трендом.

Можна бачити, що в період з 2020 р. по 2050 р. у Вінниці, Дніпрі, Кропивницькому, Миколаєві та Черкасах прогнозується зниження кількості опадів за трендом від 71 мм у Вінниці до 6 мм у Дніпрі.

Навпаки, у Донецьку, Запоріжжі, Одесі, Сімферополі та Херсоні очікується збільшення кількості опадів за трендом від 4 мм у Донецьку до 52 мм у Сімферополі. Динаміка прогнозованих сум опадів показує, що майже по усім пунктам (окрім Вінниці, Херсона та Одеси) в середині досліджуваного періоду (2030-2038 рр.) очікується зростання кількості опадів, після цього періоду суми опадів знов знижуватимуться до 2050 р.

Далі розглянемо часовий розподіл прогностичних індексів екстремальності по опадах, осереднених за чотирма районами, кожний з яких включав три області: район 1 – Одеська-Миколаївська-Кіровоградська; район 2 – Херсонська-Запорізька-Дніпропетровська; район 3 – Донецька-Луганська-Харківська; район 4 – Вінницька-Черкаська-Київська (південна половина).

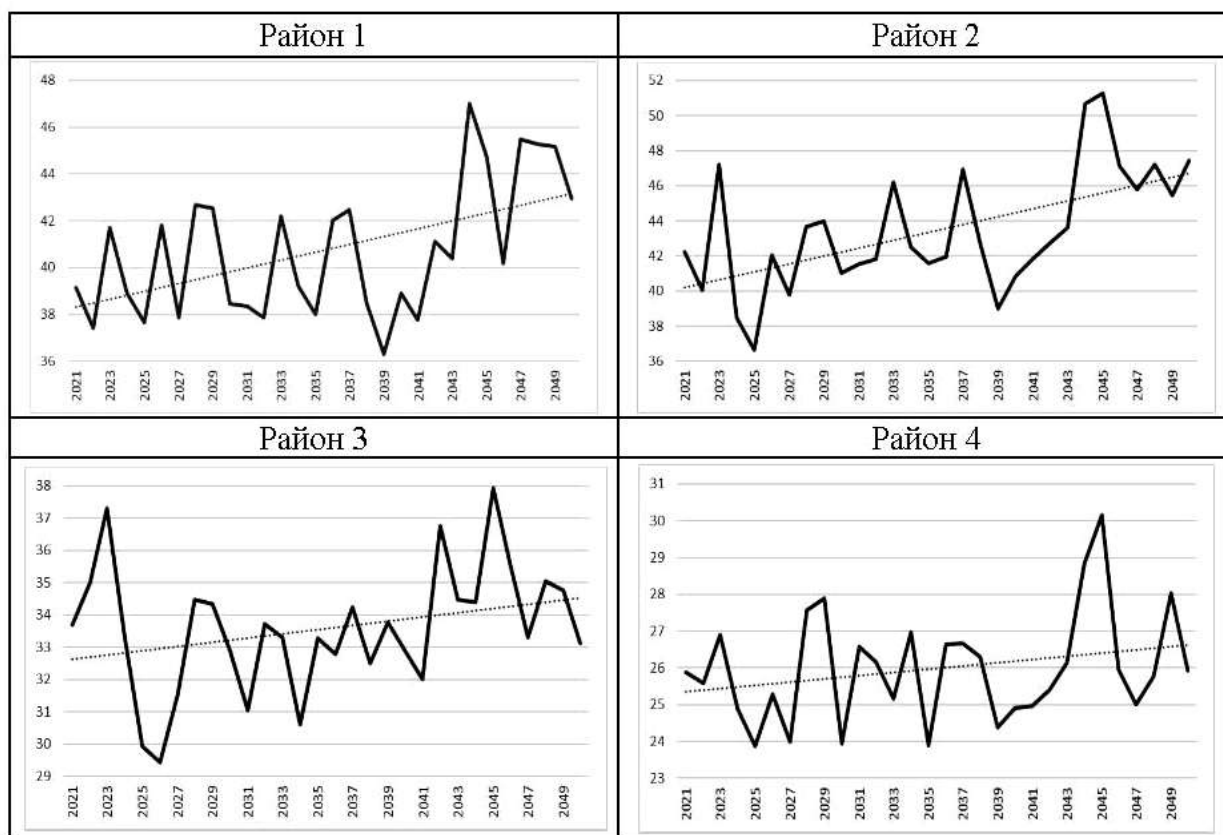


Рис. 3. Часовий хід індексу ALTCDD (кількість днів на рік) за період 2021-2050 рр. (пряма – лінія тренду)

Аналіз часового ходу індексу *ALTCDD* показує (рис. 3), що у районі 1 очікується максимальне значення індексу у 2044 р. (47 днів), а мінімальне – у 2039 р. (36 днів). У районі 2 максимальна тривалість сухого періоду буде спостерігатися у 2045 р. (51 день), а мінімальна у 2025 р. (37 днів). У районі 3 індекс досягне максимуму у 2045 р. (37 днів), а мінімуму у 2026 році (29 днів). У районі 4 найбільша кількість послідовних сухих днів буде спостерігатися у 2045 р. (30 днів), а мінімальна – у 2025 р. (24 дні).

Загалом, найбільша середня тривалість безперервних сухих періодів прогнозується в районі 2 (43 дні) та 1 (41 день), а найменша у районі 4 (26 днів). Таким чином, у середині 2040-х років, коли очікується майже усюди зниження кількості опадів, безперервні посушливі періоди прогнозуються найбільш тривалими. Цей висновок також підтверджується даними лінійних трендів індексу *ALTCDD*, який демонструє зростання значень індексу по всіх районах, при цьому протягом 30 років прогнозована середня кількість днів в сухих періодах зростає від 1-2 днів в районах 1, 3 і 4 до 5 днів в районі 2.

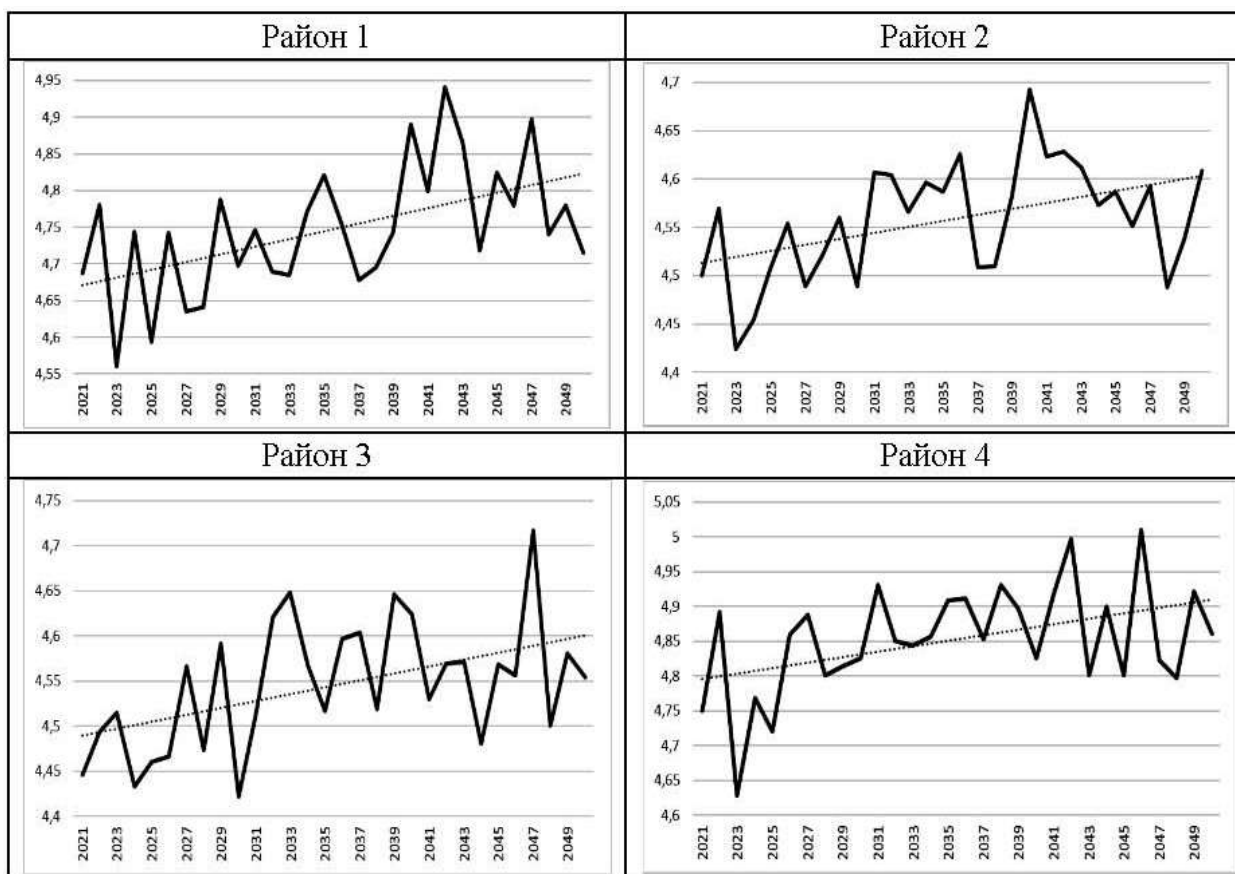


Рис. 4. Часовий хід індексу *SDII* (мм/день) за період 2021-2050 рр. (пряма – лінія тренду)

Аналіз часового ходу інтенсивності прогнозованих опадів за допомогою індексу *SDII* показав (рис. 4), що по всіх районах інтенсивність

опадів коливається в невеликих межах і буде мати тенденцію до зростання протягом 30-річного періоду на 0,1-0,2 мм/день.

Найбільша інтенсивність опадів спостерігатиметься у північних областях (район 4) – до 5 мм/день наприкінці періоду. Найменша інтенсивність опадів припадатиме на східні та південні області, з мінімальними показниками у районі 2 (до 4,7 мм/день). Слід зазначити, що в усіх районах максимум індексу *SDII* спостерігатиметься в 2040-х роках, в яких загалом, очікується зниження кількості опадів. Тобто, опади спостерігатимуться рідше, але з більшою інтенсивністю, що знижує їх ефективність.

Внаслідок зростання інтенсивності опадів, вочевидь, частіше спостерігатимуться й випадки екстремальних опадів, про що свідчать графіки часового ходу індексу *R95pTOT* (рис. 5). Можна бачити, що сумарна річна кількість екстремальних опадів прогнозується найбільшою в районах 1 та 4, де вона коливатиметься в межах від 115 мм/рік на початку досліджуваного періоду до 150 мм/рік у період 2038-2039 рр.

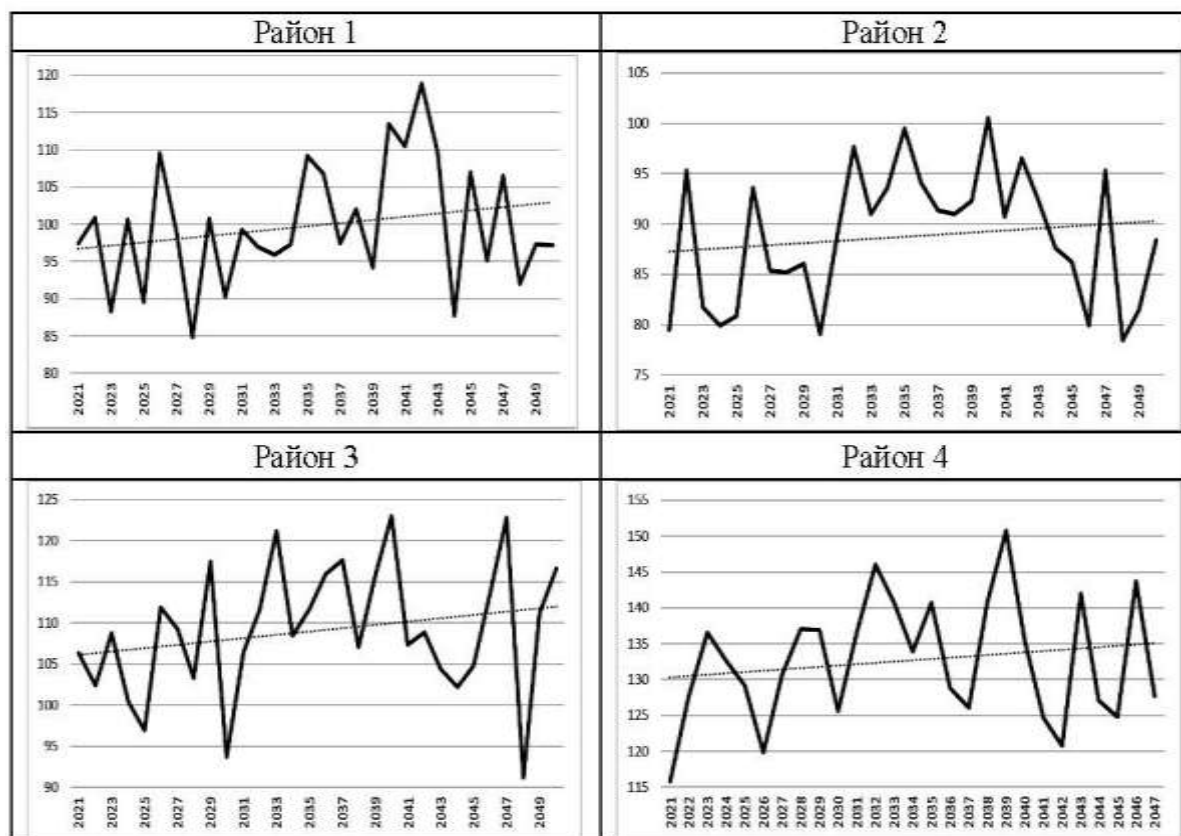


Рис. 5. Часовий хід індексу *R95pTOT* (мм/рік) за період 2021-2050 рр. (пряма – лінія тренду)

Найменші показники індексу *R95pTOT* прогнозуються у районі 2, де сумарна річна кількість опадів коливатиметься в межах 80-100 мм/рік. На сході країни (район 3) значення індексу *R95pTOT* прогнозуються на рівні 91-124 мм/рік. В усіх районах спостерігатимуться досить різкі міжрічні

коливання показників  $R95pTOT$ , при цьому за значеннями лінійного тренду зростання річних сум опадів становить від 3 до 5 мм за тридцятирічний період.

*Висновки.* Аналіз просторово-часового розподілу кількості прогнозованих опадів за даними регіонального кліматичного моделювання по території України показав, що в рамках жорсткого сценарію РТК8.5 у період 2021-2050 рр. в літній сезон очікуються різноманітні тенденції у кількості опадів в різних районах. Загалом, по території спостерігатиметься зростання кількості опадів в першій половині досліджуваного періоду і поступове її зниження наприкінці періоду. Але по окремих пунктах може спостерігатися як зменшення, так і зростання кількості опадів, хоча тренди виявилися переважно не значимими.

Структура кількості та інтенсивності опадів зберігатиметься неоднорідною, на що вказують міжрічні коливання кліматичних індексів екстремальності опадів. В усіх розглянутих районах України очікується зростання максимальної тривалості сухих періодів, при цьому інтенсивність опадів буде також зростати, що, в свою чергу, підвищує ймовірність виникнення значних опадів, яка підтверджується прогнозованим зростанням відповідного індексу сумарної річної кількості екстремальних опадів. Таким чином, отримані характеристики показали, що в умовах сценарію РТК8.5 клімат в Україні буде характеризуватися зростанням екстремальності у показниках опадів, наслідком чого може бути збільшення інтенсивності як посух, так й явищ, пов'язаних з надлишковими опадами.

*Список використаних джерел*

1. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколук М., Илляш О., Рожкова А. Оценка уязвимости к изменению климата: Украина. Климатический форум восточного партнерства (КФВП) и Рабочая группа неправительственных организаций по вопросам изменения климата (РГ НУО ВИК), 2014. 64 с.
2. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов К.К. Тенденции современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счет атмосферных процессов в летний сезон // Наукові праці УкрНДГМІ. 2016. Вип. 268. С. 15-26.
3. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні: монографія. ФОП Панов А.М., Харків, 2017. 236 с.
4. МГЭИК, 2014 г. Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / По ред. Т.Ф. Стокер и др. Кембридж: Cambridge University Press, 2014. URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml> (дата звернення: 27.09.2017).
5. Sillmann, J., Kharin V.V., Zwiers F.W., Zhang X., Bronaugh D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future projections // J. Geophys. Res., 2013. doi:10.1002/jgrd.50188.
6. Definitions of the core climate extreme indices. URL: <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=climdex-indices> (дата звернення 03.10.2018 р.).
7. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.

*Список использованных источников*

1. Шевченко О., Власюк О., Ставчук И., Ваколюк М., Илляш О., Рожкова А. Оценка уязвимости к изменению климата: Украина. Климатический форум восточного партнерства (КФВП) и Рабочая группа неправительственных организаций по вопросам изменения климата (РГ НУО ВИК), 2014. 64 с.
2. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов К.К. Тенденции современного температурно-влажностного режима Украины к аномальности за счет атмосферных процессов в летний сезон // Научные труды УкрНИГМИ. 2016. Вып. 268. С. 15-26.
3. Семенова И.Г. Синоптические и климатические условия формирования засух в Украине: монография. ФОП Панов А.М., Харьков, 2017. 236 с.
4. МГЭИК, 2014 г.: Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / По ред. Т.Ф. Стокер и др. URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>.
5. Sillmann, J., Kharin V.V., Zwiers F.W., Zhang X., Bronaugh D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future projections // J. Geophys. Res., 2013. doi:10.1002/jgrd.50188.
6. Definitions of the core climate extreme indices. URL: <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=climdex-indices>.
7. Климат Украины / под ред. В.М. Липинского, В.А. Дячука, В.М. Бабиченко. К.: Издательство Раевского, 2003. 343 с.

*References*

1. Shevchenko O., Vlasyuk O., Stavchuk I., Vakolyuk M., Ilyash O., Rozhkova A. National Climate Vulnerability Assessment Ukraine. Climate Forum East (CFE) and NGO Working Group on Climate Change, 2014. 71 p. URL: <http://www.climateforumeast.org/uploads/other/0/708.pdf>.
2. Martazinova V.F., Ivanova E.K., Scheglov K.K. Tendencies of the modern temperature and humidity regime of Ukraine towards anomalousness due to atmospheric processes in the summer season // UkrNDGMI Proceedings. 2016. V. 268. P. 15-26.
3. Semenova I.G. Synoptic and climatic condition on drought formation in Ukraine: monograph, FOP Panov A.M., Kharkiv, 2017. 236 p.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781107415324.
5. Sillmann, J., Kharin V.V., Zwiers F.W., Zhang X., Bronaugh D. Climate extremes indices in the CMIP5 multi-model ensemble. Part 2: Future projections // J. Geophys. Res., 2013. doi:10.1002/jgrd.50188.
6. Definitions of the core climate extreme indices. URL: <http://climate-scenarios.canada.ca/?page=climdex-indices>.
- Climate of Ukraine / Lipinskiy V.M., Dyachuk V.A., Babichenko V.M. (eds.). Vydavnyctvo Raevskogo, Kyev, 343 p.