

Svintsitska H.I. Analysis of the main types of Cumulonimbus clouds. The article analyzes the different versions of typing cumulonimbus clouds and differences in the formation of cumulonimbus clouds of various types.

Keywords: convection, cumulonimbus clouds, one-, multi- and supercell clouds.

Сеинцицкая Г. И. Анализ основных типов кучево-дождевых облаков. В статье проанализированы различные версии типизации кучево-дождевых облаков и отличия в условиях формирования кучево-дождевых облаков различных типов.

Ключевые слова: конвекция, кучево-дождевые облака, одно-, много- и суперъячейковые облака.

Надійшла до редколегії 18.03.2015

УДК 551.577.38+551.581.1

Семенова І. Г.

Одеський державний екологічний університет

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ ПОСУХ В УКРАЇНІ В УМОВАХ МАЙБУТНЬОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Ключові слова: посуха, зміни клімату, кліматичний сценарій, індекс посухи

Вступ. Територія України відноситься до тих регіонів Європи, які майже щорічно опиняються під дією посух різної інтенсивності. Частота появи посухи зазнає певних коливань в умовах окремих кліматичних періодів [1, 2]. Оцінка просторово-часового розподілу посух в майбутньому здійснюється на основі даних кліматичного моделювання.

В 2014 році світовій спільноті були представлені матеріали П'ятої фази Проекту порівняння спільних моделей (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату, в якій використовується набір сценаріїв клімату у вигляді Репрезентативних траєкторій концентрацій (РТК). Згідно П'ятій оціночній доповіді Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) [3], проєкції змін в усіх компонентах кліматичної системи ґрунтуються на результатах модельних імітацій з використанням нового набору сценаріїв РТК, заснованих на концентраціях вуглецю в атмосфері, на відміну від сценаріїв викидів, що використовувалися в Четвертій оціночній доповіді [4].

РТК визначаються приблизною сумарною величиною радіаційної дії (РД) в 2100 році в порівнянні з 1750 роком: 2,6 Вт·м⁻² для РТК2.6; 4,5 Вт·м⁻² для РТК4.5; 6,0 Вт·м⁻² для РТК6.0; 8,5 Вт·м⁻² для РТК8.5. Радіаційна дія є мірою результуючої зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на деяке зовнішнє збурення, при цьому позитивна РД веде до потепління, а негативна РД до похолодання. З чотирьох сценаріїв один передбачає скорочення викидів з вельми низьким рівнем дії (РТК2.6), два сценарії передбачають стабілізацію викидів (РТК4.5 і РТК6.0) і один сценарій відповідає вельми високим рівням викидів парникових газів (РТК8.5). Згідно РТК6.0 і РТК8.5, радіаційна дія не досягає максимального значення до 2100 г.; в РТК2.6 вона досягає максимуму і потім знижується; і в РТК4.5 вона стабілізується до 2100 р.

Як зазначається в П'ятій оціночній доповіді [3], однією з головних проблем моделювання в рамках CMIP5 стало послаблення тренду підвищення середньої глобальної приземної температури (СГПТ), яке спостерігалось в останні десятиліття. Спостереження показали, що залежно від набору даних, тренд СГПТ за період 1998-2012 рр. становить приблизно від третини до половини тренду за період 1951-2012 рр. Послаблення тренду найбільш виразно проявляється взимку

в Північній півкулі. Тим не менш, перше десятиліття XXI століття було найбільш теплим за інструментальним спостереженням СГПТ.

Згідно очікуваних майбутніх змін клімату, зміна середньої глобальної приземної температури у короткостроковій перспективі за період 2016–2035 рр. в порівнянні з 1986–2005 рр. буде, ймовірно, в діапазоні 0,3–0,7 °С. Ця оцінка передбачає відсутність крупних вивержень вулканів або довготривалих змін сумарної сонячної радіації. На регіональному рівні, найбільші відмінності в приземній температурі повітря між сценаріями РТК виявляються в Арктиці. Вельми ймовірно, що антропогенне потепління приземного повітря протягом наступних декількох десятиліть відбуватиметься швидшими темпами над сушею, ніж над океанами, а антропогенне потепління над Арктикою в зимовий час буде сильніше, ніж середнє глобальне потепління.

В довгостроковій перспективі середня глобальна температура продовжуватиме підвищуватися протягом XXI століття в рамках всіх сценаріїв РТК [3]. Приблизно з середини XXI століття темпи глобального потепління стають більш залежними від сценарію. Зростання СГПТ в період 2081-2100 рр. в порівнянні з 1986-2005 рр., ймовірно, буде знаходитися в 5-95% діапазоні моделей СМІР5: від 0,3-1,7 °С за сценарієм РТК2.6 до 2,6-4,8 °С за сценарієм РТК8.5.

В міру зростання середньої глобальної температури в більшості регіонів частіше спостерігатимуться екстремально високі і, рідше, екстремально низькі температури. Очікується збільшення частоти, тривалості і величини екстремально високих температур разом з тепловими стресами, проте в зимовий час інколи спостерігатимуться екстремально низькі температури [5].

Згідно проєкцій опадів в кліматі, що теплішає, в глобальному масштабі очікується їх поступове збільшення в XXI столітті. Збільшення об'єму опадів буде значно менше (близько 2% K⁻¹) темпів збільшення вмісту водяної пари в нижніх шарах тропосфери (близько 7% K⁻¹) внаслідок глобальних енергетичних обмежень. Найзначніші зміни опадів очікуються в зимовий період над північною частиною Євразії і Північною Америкою. До кінця століття інтенсивність і повторюваність випадання екстремальних опадів над більшою частиною суші в середніх широтах і над вологими тропічними регіонами, вельми ймовірно, збільшиться.

В даній статті представлена оцінка температурно-вологісного режиму і повторюваності посух на території України в період 2020-2050 рр. за даними кліматичного моделювання СМІР5.

Вихідні матеріали та методи дослідження. Для оцінки майбутнього розподілу приземної температури повітря та опадів використано результати кліматичного моделювання СМІР5, доступ до яких здійснений за допомогою сервісу KNMI Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>). Осереднення прогнозованих полів температури та опадів з кроком регулярної сітки 2,5 градуси проведено по 32 глобальним моделям. Мультимодельні дані взяті для двох граничних кліматичних сценаріїв – м'якого RCP2.6 та жорсткого RCP8.5, та осереднені по теплому періоду року з квітня по жовтень. Базовий кліматичний період, відносно якого визначалися аномалії температури та опадів за теплий сезон року, взятий з 1981 по 2010 рр.

Оцінка повторюваності й інтенсивності очікуваних посух виконана за допомогою стандартизованого індексу опадів SPI (Standardized Precipitation index), який запропонований в роботі МакКі та ін. [6] і рекомендований Всесвітньою метеорологічною організацією для моніторингу посух [7]. Розрахунок індексу SPI базується на використанні часових рядів місячних сум опадів. Процедура розрахунку включає перетворення часових рядів опадів із застосуванням гама-

розподілу, а потім нормування отриманих ймовірностей у стандартизований індекс опадів:

$$SPI = F^{-1}G(R), \quad (1)$$

де G – інтегральна функція гамма-розподілу; R - кількість опадів ; F^{-1} – зворотний нормований гаусів розподіл.

Інтенсивність посух визначається за від'ємними значеннями SPI: - 0,99...0,00 – м'яка посуха, -1,49...-1,00 – помірна посуха, -1,99...-1,50 – сильна посуха, $\leq -2,00$ – екстремальна посуха.

Індекс SPI може бути розрахований для різних часових кроків. Часові кроки (масштаби) від 1 до 3 місяців використовуються для оцінки метеорологічної посухи, від 3 до 7-8 місяців – сезонної або агрометеорологічної посухи, від 12 місяців та більше – гідрологічної посухи. [6, 8].

Результати дослідження та їх аналіз. Згідно розрахованому просторово-часовому розподілу аномалій приземної температури повітря, за обома кліматичними сценаріями на території України очікується підвищення температури повітря впродовж тридцяти років. Але є різниця між величиною та темпами зростання температури. За сценарієм RCP2.6 в усіх агрокліматичних зонах відбуватиметься поступове зростання температури, при цьому до 2026 р. зріст повільний, а аномалії температури невеликі – до +0,5...+0,7°C. В подальшому темп зростання збільшується і після невеликої паузи в 2043 р. аномалії температури досягаються максимуму – до +2,1°C. При цьому в північній половині країни найбільші додатні аномалії зміщені на схід, а в південній частині - на захід від 32° сх.д.

За сценарієм RCP8.5 до 2030 р. аномалії температури майже незмінні та коливаються в межах +0,8...+1,2 °C і лише на сході в окремі роки досягатимуть +1,8 °C. Після 2033 р. на півдні та 2036-2037 рр. в більш північних районах температура починатиме швидко зростати і в п'ятиліття з 2045 по 2050 рр. аномалії температури будуть досягати +2,8...+3,1 °C, особливо в східній частині і на півночі країни.

Зростання температури буде супроводжуватися загалом збільшенням кількості опадів, але не в усіх районах. В межах території України за двома кліматичними сценаріями, що розглядаються, будуть спостерігатися різноманітні тенденції в зміні інтенсивності і кількості опадів. За сценарієм RCP2.6 переважатиме зменшення опадів в усіх широтних зонах і особливо в центрі країни. В південній частині періоди зменшення опадів (до 6-8%) досить рівномірно перемежаються з періодами підвищення їх кількості (до 10-12%). В період 2034-2041 рр. аномалії опадів найменші або позитивні в усіх широтних зонах. Починаючи з 2043 р. кількість опадів буде стійко знижується в центральних та північних районах, в південній частині найбільш посушливим очікується 2043-2044 рр. з негативною аномалією опадів до 6-8%. Враховуючи постійне зростання температури повітря за сценарієм RCP2.6, прогнозоване зменшення кількості опадів в деякі періоди буде підвищувати ймовірність настання посух в теплий сезон року, особливо цей процес посилиться після 2045 р.

За кліматичним сценарієм RCP8.5 по території України буде спостерігатися зростання кількості опадів в досліджуваний період. Позитивні аномалії опадів переважатимуть на півдні та в центрі майже до початку 2040-х років – до 10-13%. На півночі фіксується всього два основних періоди зі зниженням кількості опадів – в 2023 р. та 2044-45 рр., в інші проміжки часу переважатимуть позитивні аномалії до 9-11%. Високі прогнозовані температури повітря в цьому сценарії зумовлять

підвищення швидкості випаровування з поверхні, що зводить до мінімуму позитивний вплив збільшення кількості опадів. Тому, за даним сценарієм не слід очікувати будь-якого помітного зменшення інтенсивності посух порівняно з поточним кліматичним періодом.

Аналіз просторового розподілу і повторюваності сезонних посух, які визначалися за індексом SPI на масштабі 7 місяців (SPI7) з квітня по жовтень впродовж 2020-2050 рр., показав, що в межах території України загальна кількість посух дещо вище за сценарієм RCP2.6, ніж за жорстким сценарієм RCP8.5 (рис. 1).

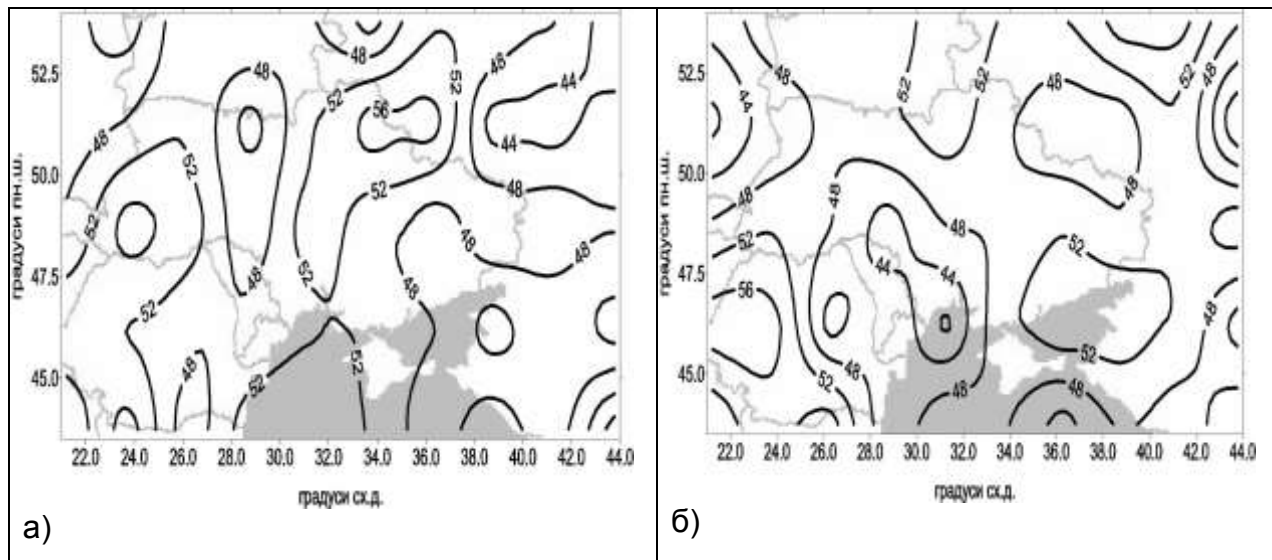


Рис. 1 – Загальна повторюваність посух (SPI<0, %) в теплий сезон за кліматичними сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

За сценарієм RCP2.6 по території країни сезонні посухи прогнозуються в середньому в 48-56% всіх років, тобто майже кожний другий сезон буде посушливим. Найбільша повторюваність посух (понад 56%) спостерігатиметься в північно-східних областях та Карпатському регіоні (понад 54% років) (рис. 1, а). За сценарієм RCP8.5 загальна повторюваність посух по території країни складає переважно 44-52% (рис. 1, б), при цьому найбільша повторюваність (понад 52%) спостерігатиметься в Приазов'ї, Закарпатті та на півночі (Київська та Чернігівська області). Мінімум сезонних посух (менше 48%) припадає на південний захід країни – Одеська, Миколаївська, Вінницька області.

Просторовий розподіл повторюваності посух за їх інтенсивністю представлений на рис. 2. Кількість років з м'якою посухою за сценарієм RCP2.6 коливається в межах 10-12, з максимумом над північними областями України, Херсонською областю та Карпатами (рис. 2, а). За сценарієм RCP8.5 кількість років з м'якою посухою становить в середньому 8-10, більше 12 років посуха прогнозується в Закарпатті та вздовж узбережжя Азовського моря (рис. 2, д).

Помірно посушливі теплі сезони за сценарієм RCP2.6 прогнозуються у кількості 1-2 роки на більшій частині території країни, і тільки на сході (Луганська область) кількість років збільшується до чотирьох (рис. 2, б). За сценарієм RCP8.5 сезонів з помірними посухами очікується вдвічі більше – від 2 до 4 по країні, при цьому максимум припадає на південно-західні та північні області (рис. 2, е).

Кількість років з сильними сезонними посухами за обома сценаріями прогнозується від 1 до 3, при цьому максимум повторюваності зосереджений в обох випадках на південному заході і охоплює Одеську, Миколаївську, Черкаську, Вінницьку, Кіровоградську області (рис. 2, в, ж). На решті території країни повторюваність коливається від 0 до 1 випадку.

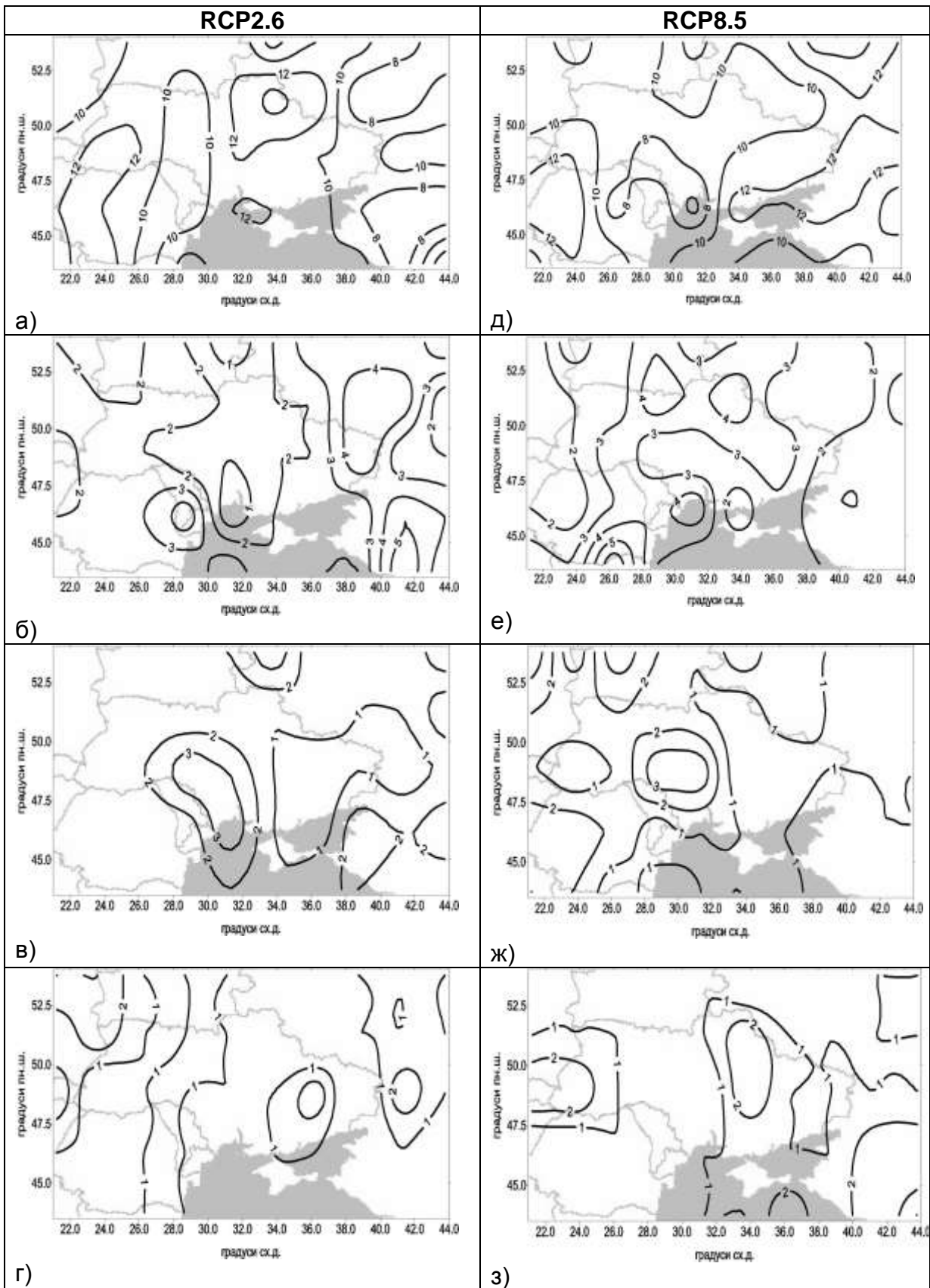


Рис. 2.– Повторюваність посух (кількість років) різної інтенсивності в теплий сезон за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період 2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

Екстремальні сезонні посухи за сценарієм RCP2.6 очікуються не більше 1 разу за 31 рік на більшій частині території країни і лише в Волинській області можливі два випадки (рис. 2, г). За сценарієм RCP8.5 екстремальних посух прогнозується більше, при цьому спостерігаються два осередки повторюваності в 1-2 роки – один на заході країни, інший – в північно-східних та центральних областях (рис. 2, з).

Для того, щоб визначити, як будуть розподілятися сухі та вологі періоди за часом протягом 2020-2050 рр., розглянемо часовий хід індексу SPI в окремих точках, які наближені до певних пунктів України. На рис. 3 представлені графіки часового ходу індексу SPI на масштабі 12 місяців, розрахованого по двом кліматичним сценаріям в двох точках, розташованих в різних агрокліматичних зонах. Прямі лінії на графіках відображають тренд індексу SPI12.

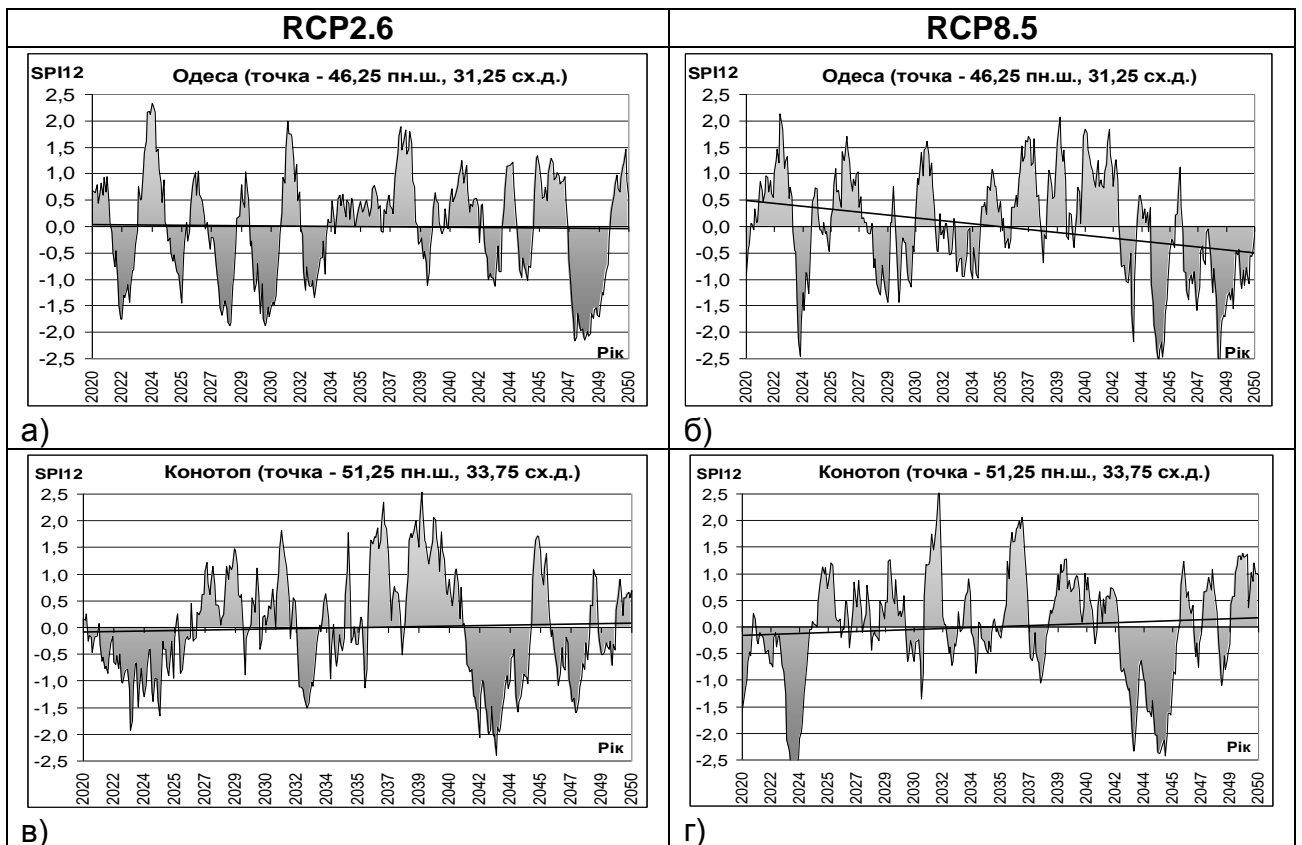


Рис. 3 – Часовий хід індексу SPI12 для сценаріїв RCP2.6 та RCP8.5, по окремих пунктах за період 2020-2050 рр.

На півдні країни (Одеса) за умови реалізації сценарію RCP2.6 будуть спостерігатися чергування сухих та вологих (рис. 3, а). З 2020 по 2034 рр. спостерігатимуться п'ять посушливих періодів з інтервалом кожні два роки. Інтенсивність посухи коливатиметься від помірної до сильної (2022, 2028, 2030 роки). Після вологого періоду з 2034 по 2039 рр. спостерігатимуться ще 4 епізоди посух, три з яких будуть слабкими й нетривалими, а остання з 2047 по 2049 рр. досягне екстремальних критеріїв. За сценарієм RCP8.5 протягом 2021-2042 рр. переважатимуть вологі періоди, а значних епізодів посух очікується лише три (рис. 3, б).

Найбільш інтенсивна посуха спостерігатиметься в 2024 р. і досягне екстремальних критеріїв, в період з 2028 по 2030 рр. посуха буде від слабкої до помірної, а в 2033-2034 рр. не перевищить слабкої інтенсивності. Останні шість

років досліджуваного періоду (2045-2050 рр.) очікуються дуже посушливими – майже безперервна посуха досягатиме екстремальних критеріїв принаймні тричі.

На північному сході країни (Конотоп) в рамках сценарію RCP2.6 за досліджуваний період очікується чотири основних посушливих епізоди (рис. 3, в). Тривала посуха з інтенсивністю від слабкої до сильної спостерігатиметься з 2020 по 2026 рік. Другий епізод помірної посухи прогнозується протягом 2032-2033 рр. Найбільш інтенсивна й безперервна посуха очікується в 2042-2044 рр., коли значення SPI12 досягатимуть екстремальних критеріїв. В останній період з 2046 по 2048 рр. посуха буде переважно помірною. Часовий розподіл посух за жорстким сценарієм RCP8.5 подібний до м'якого сценарію, при цьому виділяються два основних періоди – 2020-2024 рр. та 2042-2045 рр., в яких посуха майже безперервна та досягатиме екстремальних критеріїв (рис. 3, г).

Висновки. Кліматичне моделювання температурно-вологісного режиму показує, що в короткостроковій перспективі очікується загальне підвищення температури, яке торкнеться всіх областей України та особливо інтенсивним буде в північно-східному регіоні. Кількість опадів також зростатиме, але їх буде недостатньо, щоб уникнути формування посух. Очікується, що як за м'яким, так й за жорстким кліматичними сценаріями в період 2020-2050 рр. майже кожний третій теплий сезон буде з м'якою посухою на всій території країни. За цей період прогнозується в середньому від 1 до 3 сезонів з помірною та сильною посухою і не більше 1-2 сезонів з екстремальною посухою. Періоди посух будуть чергуватися з вологими періодами порівняної інтенсивності, при цьому найбільш вологим прогнозується період з 2034 по 2040 рік, а найбільш важливі періоди посух спостерігатимуться в 2020-х та 2040-х роках. Найбільш жорстока посуха, яка досягатиме екстремальної інтенсивності, спостерігатиметься в 2042-2045 рр., а на півдні триватиме до 2050 р.

Список літератури

1. Хохлов В. М. Просторово-часова мінливість посух в Східноєвропейському секторі в умовах глобальних змін клімату / В. М. Хохлов, Н. С. Єрмоленко // Укр. гідрометеорологічний журнал. – 2012. – №11. – С. 128-134. 2. Семёнова И. Г. Оценка пространственно-временного распределения засух на Украине в вегетационный период / И. Г. Семёнова // Труды ГГО. – 2014. – Вып. 571. – С. 134-146. 3. МГЭИК, 2013 г. [Електронний ресурс]: 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. – Режим доступа: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>. 4. МГЭИК, 2007 г.: Изменение климата, 2007 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата. / Под ред. С. Соломон и др. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. - 996 с. 5. IPCC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, in: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change / C. Field at all., eds. - Cambridge: Cambridge University Press, 2012. – 582 p. 6. McKee T.B. The relationship of drought frequency and duration to time scales / T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kliest // Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. – Anaheim, USA, 1993. – P. 179-184. 7. Standardized Precipitation Index. User Guide [Електронний ресурс]. – WMO. No. 1090, 2012. – 24 p. - Режим доступа: <https://docs.google.com/file/d/0BwdvoC9AeWjUOGg4U01GMIBYaUk/edit?usp=sharing>. 8. Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. A drought climatology for Europe / B. Lloyd-Hughes, M.A. Saunders // Int. J. of Climatology. – 2002. – Vol. 22, No. 13. – P. 1571-1592.

Семенова И. Г. Просторово-часовий розподіл посух в Україні в умовах майбутньої зміни клімату. В статті розглянуті температурно-вологісні умови в Україні в майбутньому за 2020-2050 роки з використанням даних кліматичного моделювання

CMIP5. Аналіз просторово-часового розподілу посух здійснений за допомогою індексу SPI. Згідно кліматичним сценаріям RCP2.6 і RCP8.5 максимальне зростання приземної температури повітря може досягти +2,1°C та +3,1°C відповідно. Опади будуть зростати за обома сценаріями. Частота слабких і помірних посух в середньому складе 10-14 випадків по всіх регіонах. Сильні і екстремальні посухи очікуються в 1-4 роках, але не повсюдно. Найбільш сильна посуха прогнозується в 2042-2045 рр.

Ключові слова: посуха, зміни клімату, кліматичний сценарій, індекс посухи.

Semenova I. G. The spatial and temporal distribution of droughts in Ukraine under the future climate changes. The paper considers the temperature and moisture conditions in Ukraine using climate modelling data of CMIP5 in the future period 2020-2050. Analysis of spatial and temporal drought distribution was held using the drought index SPI. According to climate scenarios the RCP2.6 and RCP8.5 maximum increasing of surface air temperature can be up to +2.1°C and +3.1°C respectively. Precipitation will be increasing in both scenarios. The frequency of weak and moderate droughts averaged to 10-14 cases over all regions. Severe and extreme droughts are expected in 1 to 4 years, but not everywhere. The most severe drought is projected in 2042-2045.

Keywords: drought, climate changes, climate scenario, drought index.

Семёнова И. Г. Пространственно-временное распределение засух в Украине в условиях будущего изменения климата. В статье рассмотрены температурно-влажностные условия в Украине в будущем за 2020-2050 годы с использованием данных климатического моделирования CMIP5. Анализ пространственно-временного распределения засух осуществлен с помощью индекса SPI. В соответствии с климатическими сценариями RCP2.6 и RCP8.5 максимальный рост приземной температуры воздуха может достигнуть +2.1°C и +3.1°C соответственно. Осадки будут возрастать по обоим сценариям. Частота слабых и умеренных засух в среднем составит 10-14 случаев по всем регионам. Сильные и экстремальные засухи ожидаются в 1-4 годах, но не повсеместно. Наиболее сильная засуха прогнозируется в 2042-2045 гг.

Ключевые слова: засуха, изменения климата, климатический сценарий, индекс засухи.

Надійшла до редколегії 04.03.2015

УДК: 551.582.584:633

Круківська А. В.

*Київський національний університет
імені Тараса Шевченка*

ДИНАМІКА УМОВ ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СОНЯШНИКУ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

Ключові слова: агрокліматичні умови, соняшник, коефіцієнт вологозабезпечення, тренд

Актуальність теми. Україна посідає одне з провідних місць у світі за виробництвом товарного насіння соняшнику й експортом продуктів його переробки. Впродовж останніх років у структурі посівних площ олійних культур в країні простежується збільшення частки сої та ріпаку, однак, соняшник залишається найрентабельнішою культурою. Врожайність соняшнику в Україні в середньому становить 15,0–18,4 ц/га, найвища вона в тих господарствах, які вирощують культуру за прогресивною технологією, – до 30 ц/га, а в умовах зрошення – до 38–40 ц/га. Водночас, біологічний потенціал цієї культури дозволяє отримувати ще більші врожаї. Поширені переважно середньостиглі і середньопізні сорти соняшнику, які дають високий вихід харчової олії і білка. Загальна площа посівів соняшнику в Україні – 4,3–4,8 млн. га. По території країни посівні площі