

- A sufficiently high estimate of the validity of the independent material for the winter season 2014-2016 was obtained. It is up to 78 % (for an array of data on extreme cold dates and from 90 % (for an array of data on selected dates with ice deposits) .

- The prognostic function of linear discriminant analysis was obtained to determine possible (with 3-day timeliness) extreme meteorological phenomena (ice) during the winter season 2001-2010, using only meteorological values with statistically significant correlation, namely, the maximum air temperature; average humidity; and average wind speed.

- Sufficiently significant and satisfactory validity of the prognostic functions of possible (with 3-day timeliness) extreme meteorological phenomena (ice deposits) for the winter season 2001-2010 was obtained.

Keywords: hazardous phenomena; ice deposits; correlation coefficient; discriminant analysis; construction of a linear discriminant function; forecast; skill assessment.

Надійшла до редколегії 17.12.2019

УДК 551.582, 551.583

Малицька Л. В., Балабух В.О.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м. Київ

ЙМОВІРНІ ЗМІНИ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ УКРАЇНИ ДО СЕРЕДИНИ ХХІ СТ.

Ключові слова: ймовірні значення кліматичних показників; сценарій А1В; зміни клімату; температура; швидкість вітру; вологість.

Вступ. За останні десятиріччя проблема змін клімату стала однією з найбільш гострих проблем світової економіки та політики, яка має трансграничний масштаб і ставить під загрозу сталий розвиток всіх країн. Вирішення її вимагає зважених дій у двох напрямках: зниження викидів парникових газів та адаптація чи пом'якшення наслідків змін клімату. Для розроблення адекватних адаптаційних засобів необхідною є інформація про ймовірний стан кліматичної системи на середньо- та довгострокову перспективи, моніторинг сучасних змін клімату, аналіз основних кліматичних показників тощо. Прогнозна кліматологічна інформація має широкий діапазон використання: від масштабних проектів розвитку регіонів до нормативних документів для різних галузей виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні питанню змін клімату в поточному періоді та на середньо- і довгострокову перспективи приділено чималу увагу науковців. Дослідження ймовірних змін клімату проводяться вченими Одеського державного екологічного університету, зокрема в [1] наведено оцінку зміни режимів температури та опадів згідно сценаріїв змін клімату А2 та А1В, за двома кліматичними показниками: середньорічної температури повітря та річної суми опадів для 22 станцій гідрометеорологічних спостережень та трьох періодів дослідження: 1986-2005 рр., 2011-2030 рр., 2031-2050 рр. Зміна режиму температури та опадів представлена також в [2], однак аналізуються зміни середньої температури повітря та зміни річних сум опадів у 2011-2025 відносно 1986-2000 р. для трьох сценаріїв А2, В1 та А1В. Подібні розробки проводяться і в Українському гідрометеорологічному інституті. Для сценарію А1В детальна характеристика термічного режиму за низкою показників представлена у [3]. Дослідження охоплюють і прикладні аспекти, зокрема оцінку майбутніх тенденцій змін характеристик гідрологічного режиму під впливом змін клімату [4], дослідження сильних опадів та паводків в Карпатах [5], оцінки змін клімату водно-болотних та лісових екосистем Українського Полісся [6], тощо.

Наявність значної кількості публікацій засвідчує чималий практичний інтерес.

Проте в деяких працях регіони України представлені реперними кліматичними станціями, а дослідження виконані за різні періоди, тому обмеженість переліку досліджуваних характеристик та недостатня деталізація вивчення кліматичних показників, зумовлює необхідність подальших розробок в цій галузі.

Формування мети статті. Метою роботи є встановлення ймовірних значень основних кліматичних показників та тенденцій їх зміни в Україні до середини XXI ст. за реалізації сценарію A1B.

Матеріали та методи. Оцінку проєкцій зміни кліматичних умов до середини XXI ст. (2021-2050 рр.), відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.) виконано за даними регіональної кліматичної моделі (PKM) REMO - ECHAM5, отриманими в рамках Європейського проєкту FP-6 ENSEMBLES для SRES A1B та фактичними добовими даними мережі гідрометеорологічних спостережень України за 1981-2010 рр. PKM REMO є одним з найкращих інструментів для вирішення поставленого завдання оскільки є верифікованою для території України і згідно [3, 7-9] має високу здатність відображати особливості регіонального клімату досліджуваної території. Горизонтальний крок моделі — 25 км.

Щоденні дані метеорологічних елементів REMO-ECHAM5 у вузлах сітки були інтерпольовані у точки з координатами пунктів гідрометеорологічних спостережень України за два періоди з 1981 по 2010 рр. та з 2021 по 2050 рр. Розрахунки проведені для 176 метеорологічних станцій мережі гідрометеорологічних спостережень України.

Алгоритм формування масиву ймовірних значень кліматичних показників у 2021-2050 рр. має 4 кроки: 1) розрахунок проєкцій середньомісячних значень кліматичних показників з 1981 по 2050 рр.; 2) кліматична обробка отриманих проєкцій, встановлення середніх багаторічних значень за досліджувані періоди; 3) оцінка різниці середніх багаторічних значень показників та встановлення її статистичної значущості за t-критерієм Стьюдента; 4) формування масиву ймовірних значень, як арифметичної суми фактичних значень та різниць за проєкціями.

Такий алгоритм досліджень дозволяє встановити можливі значення нової кліматичної норми метеорологічних показників в середині століття та уточнити просторові особливості зміни показників, їх значущість та ймовірність за реалізації сценарію A1B.

Виклад основного матеріалу. Аналіз зміни середніх багаторічних значень показників термічного режиму, режимів вітру та зволоження показав, що за реалізації сценарію A1B до середини XXI ст. в Україні відмічатимуться значимі зміни кліматичних умов порівняно із 1981-2010 рр.

Температура повітря. З ймовірністю 99 % очікується підвищення приземної температури повітря як зимовий так і в літній сезони (рис. 1, 2). В зимовий сезон температура повітря в середньому по країні може підвищитися на 1,4 °С. Інтенсивність змін зростатиме із заходу на схід, сягаючи максимуму в 2 °С у Луганській та Донецькій областях. У 2021-2050 рр. значення середньої за зиму температури повітря в Україні можуть змінюватися від -3 °С до 3 °С. Додатні температури у середині століття уже відмічатимуться не лише на півострові Крим, як у сучасний кліматичний період, а й на материковій частині України. Найнижчі температури (-3 °С і нижче), як і в сучасний період, відмічатимуться у північно-східних областях країни, високогірних районах Карпат, на сході Подільської височини та Волинському пасмо, однак їх значення можуть стати на 2 °С вищі ніж ті, що відмічають у 1981-2010 р. [10]. Можна очікувати, що за реалізації сценарію A1B, з карти просторового розподілу середніх за зиму багаторічних значень температури повітря в середині століття зникнуть ізотерми -5 °С та -4 °С.



Рис. 1. Очікувані середні багаторічні значення (а) середньої за зиму температури повітря у 2021-2050 рр. та їх зміна (б) відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.)

У літній сезон, можна очікувати підвищення середньої за сезон температури повітря на 0,8-1,2 °С. Інтенсивність змін зростатиме із півночі на південь та південний-захід (рис. 2б). На середину ХХІ століття середні значення температури влітку досягнуть +24 °С у південному регіоні країни, а в східних та центральних областях країни – +21-22 °С, які у сучасний період характерні лише для півдня країни. Найнижчі за сезон температури відмічатимуться у західному регіоні – +18-19 °С, знижуючись до +16 °С і нижче на високогір'ї Карпат. На карті середніх за літо температур зникне ізотерма +15 °С [10].



Рис. 2. Очікувані середні багаторічні значення (а) середньої за літо температури повітря у 2021-2050 рр. та їх зміна (б) відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.)

Вітер. Встановлено, що на більшій частині території України середні за зимовий сезон багаторічні значення швидкості вітру до середини ХХІ ст. можуть знизитись на 7 % у порівнянні із сучасним періодом і будуть становити 2-3 м/с для рівнинної частини та 4 м/с для зон із підвищеною вітровою активністю (рис. 3). Зонами підвищеної вітрової активності є Українські Карпати, Кримські гори, Волино-Подільська височина, Донецький кряж, західні схили Середньоруської височини та прибережні території Чорного і Азовського морів. Посилення швидкості вітру зумовлено особливостями місцевої гірсько-долинної циркуляції, у південних та південно-східних регіонах України — баричними градієнтами, які виникають внаслідок взаємодії Чорноморської депресії та області високого тиску, розташованої над північно-східними районами за межами України, що призводить до виникнення підвищеної енергії переносу повітряних мас [11].

Однак лише для північних, північно-східних та східних районів України такі зміни є статистично значущими (ймовірність більше 66 %). Слід зазначити, що в окремих районах Закарпатської, Львівської, Херсонської областей та Криму зміни

протилежні за напрямком, однак вони мало ймовірні та не суттєві, лише в південно-західному районі узбережжя Кримського півострову ці зміни є статистично значущими.

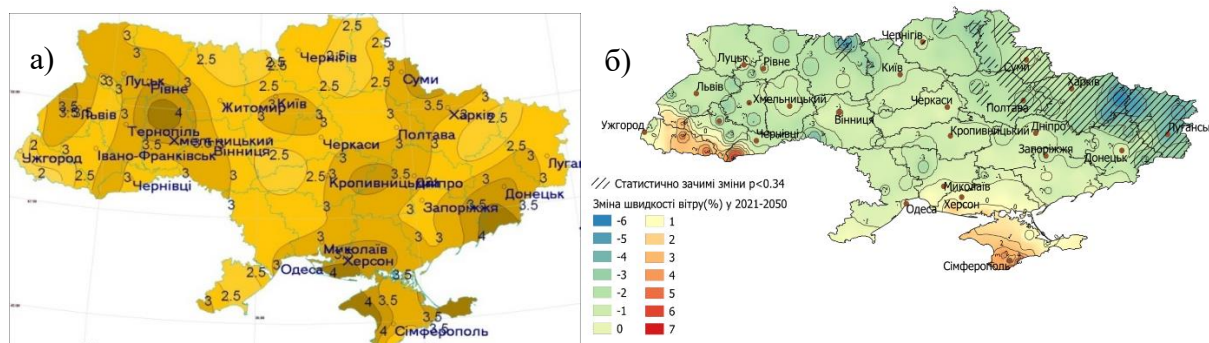


Рис. 3. Очікувані середні багаторічні значення (а) середньої за зиму швидкості вітру у 2021-2050 рр. та їх зміна (б) відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.)

Очікується, що влітку також збережеться тенденція до зниження швидкості вітру. На середину XXI ст. середні багаторічні значення середньої за сезон швидкості вітру коливатимуться від 2 м/с до 4 м/с, проти 2 - 5 м/с у сучасний кліматичний період (рис. 4). Зміни статистично значимі для західного регіону країни, Харківської області, окремих районів Запорізької, Дніпропетровської, Херсонської та Миколаївської областей (рис. 4б). Слід зазначити, що для півдня Одеської та Миколаївської областей, західної частини Кіровоградської області та південного узбережжя Кримського півострову відмічається протилежна за напрямком тенденція зміни, проте лише на західному узбережжі Кримського півострову підвищення вітру є статистично значущим.

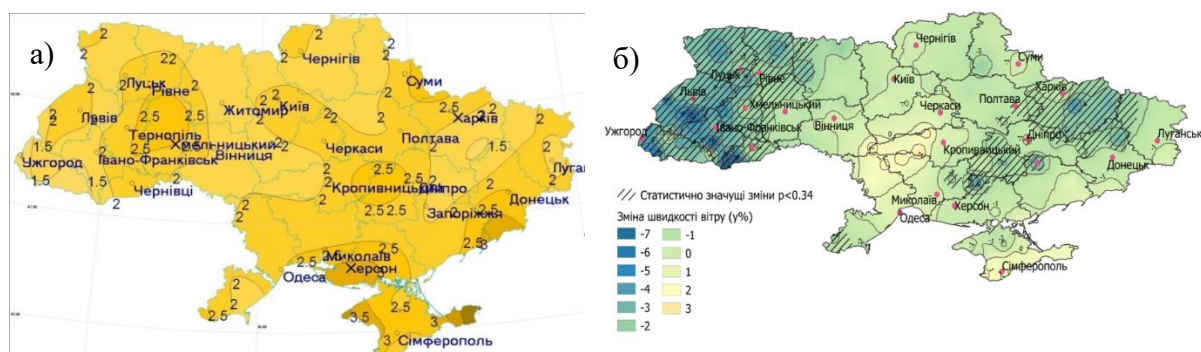


Рис. 4. Очікувані середні багаторічні значення (а) середньої за літо швидкості вітру у 2021-2050 рр. та їх зміна (б) відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.)

Відносна вологість. За реалізації сценарію А1В середні за сезон значення відносної вологості у середині XXI ст. в зимовий сезон на більшій частині території України ймовірно зростуть на 1-2 %. Найінтенсивніше відносна вологість збільшиться на Закарпатті. Однак, лише в Київській, Закарпатській, окремих районах Чернігівської, Сумської, Черкаської та Вінницької областях очікувані зміни є статистично значущими (рис. 5). Найбільший ріст відносної вологості (до 2 %) очікується на Закарпатті. Натомість в окремих районах Запорізької та Донецької областей, а саме в прибережній частині Азовського моря, можна очікувати статистично значущі зниження відносної вологості у межах 1 %.

Прогнозується, що в середині XXI ст. на півдні України та в гірських районах

країни значення середньої за зиму відносної вологості коливатимуться в межах від 65% до 70 %, на решті території від 75% до 77% (рис. 5а). Отже, вологовміст атмосфери зменшуватиметься з північного заходу на південний схід, одночасно із зростанням температури. Регіональні особливості просторового розподілу вологи, зумовлені процесом її надходження в атмосферу.

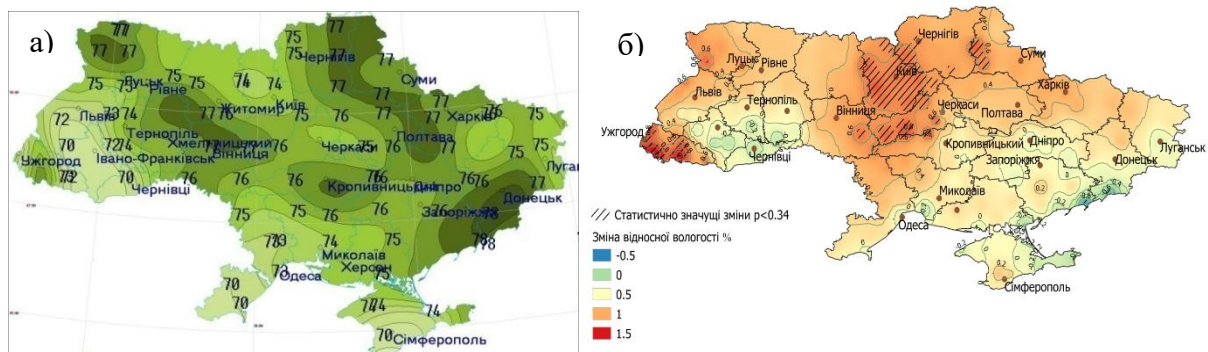


Рис. 5. Очікувані середні багаторічні значення (а) середньої за зиму відносної вологості у 2021-2050 рр. та їх зміна (б) відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.)

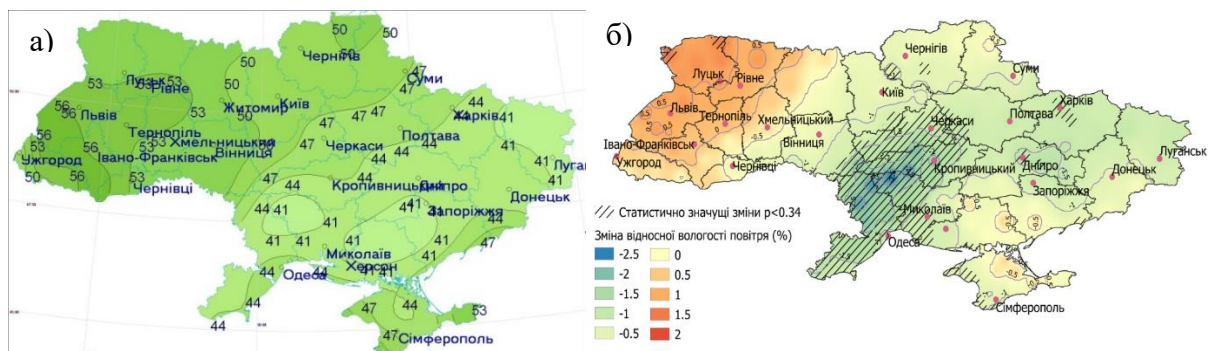


Рис. 6. Очікувані середні багаторічні значення (а) середньої за літо відносної вологості у 2021-2050 рр. та їх зміна (б) відносно сучасного кліматичного періоду (1981-2010 рр.)

Значення відносної вологості у літній сезон за реалізації сценарію А1В в середині ХХІ століття коливатимуться від 56 % на північному-заході країни до 41- 44 % на південному-сході, що на 2-3 % менше у порівнянні із сучасним періодом (рис. 6). Проте, такі зміни є статистично значущі лише в Черкаській, Кіровоградській, Миколаївській, Одеській областях, окремих районах Херсонської, Дніпропетровської, Київської, Чернігівської областей та західному узбережжі АР Крим (рис. 6а). Для заходу країни характерна протилежна за напрямом тенденція зміни відносної вологості, однак ріст значень малоімовірний та статистично не значущий, за винятком північного-заходу Поліської низовини, де відносна вологість ймовірно підвищиться на 1 % порівняно із сучасним періодом.

Висновки і перспективи дослідження. Згідно отриманих результатів у разі реалізації сценарію А1В до середини ХХІ ст. як у зимовий так і літній сезони очікується значиме підвищення температури повітря до 1,5-2 °С, що супроводжуватиметься зниженням середньої швидкості вітру на 5-8 %. Зміни відносної вологості у різні сезони матимуть різний напрямок. Взимку очікується її зростання на 1-2%, а влітку зменшення до 3 % відносно кліматичної норми 1981-2010 рр. Однонаправленість змін характерна лише для температури повітря, для середньої швидкості вітру та відносної вологості зміни мають різний напрям для

досліджуваних сезонів, в літній статистично значущі як для вітру так і для вологості, лише тенденція до зниження, а у зимовий – зниження вітру та ріст вологості, за винятком окремих районів.

Перспективним напрямком досліджень у галузі є оцінювання середньо- та довгострокових змін та ймовірних значень основних і спеціалізованих кліматичних показників та індексів для нових сценаріїв розвитку людства (RCP AR5) за даними програми CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment), порівняння таких оцінок із наявними дослідженнями, що базуються на даних проекту FP-6 ENSEMBLES та сценаріїв SRES AR4.

Список літератури

1. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / за ред. д-ра фіз-мат. наук, проф. С. М. Степаненка, д-ра геогр. наук, проф. А. М. Польового. Одеса: Екологія, 2011. 696 с. 2. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / за ред. д-ра фіз-мат. наук, проф. С. М. Степаненка, д-ра геогр. наук, проф. А. М. Польового. Одеса: Вид. «ТЕС», 2015. 520 с. 3. Балабух В. А., Малицька Л. В., Ягодинец С. Н., Лавриненко Е. Н. Проекции изменения и ожидаемые значения климатических средних и показателей экстремальности термического режима к середине XXI века в Украине. *Природопользование*. 2018 №1. С.97-113. 4. Рахматулліна Е. Р., Гребінь В. В. Оцінка майбутніх тенденцій змін характеристик гідрологічного режиму річок басейну Південного Бугу в зимовий період. *Укр. гідрометеорол. ж.*, 2017, №20. С. 91-98. 5. Краковская С. В., Паламарчук Л.В., Дюкель А. Региональная модель (РЕМО) в изучении сильных осадков в Карпатах. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія: Міжрегіон. зб.* 2008. № 50. С. 75–80. 6. Вразливі екосистеми Поліського природного заповідника та його околиць в умовах глобального потепління: проблеми та шляхи вирішення / Балабух В.О., Жила С.М., Орлов О.О., Яремченко О.А. Київ: Вид-во ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2013. 92 с. 7. Karl E. Taylor, Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012. Vol. 93, № 4. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1> 8. Krakovska S., Gnatiuk N., Shpytal T., Shedemenko I. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine. *Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX (Brussels, Belgium)*. 2013. URL:http://cordex2013.wcrp-climate.org/posters/P2_44_Krakovska.pdf. 9. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедєменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (РЕМО) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-1990 рр. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2008. Вип. 257. С.42-60. 10. Балабух В. О., Малицька Л. В. Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. *Геоінформатика*. 2017. № 4(64). С. 34-49. 11. Клімат України / за ред. В. М. Липінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К.: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.

References

1. Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M. (Eds.) Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrainy. Odessa: Ecology Publ., 2011. 696 p. 2. Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M. (Eds.) Klimatychni zminy ta ikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy. Odessa: TES Publ., 2015. 520 p. 3. Balabukh V. A., Malyskaia L. V., Yahodynets S. N., Lavrynenko E. N. Proektsyy yzmeneniyia y ozhydaemye znacheniyia klymatycheskykh srednykh y pokazatelej ekstremal'nosti termicheskoho rezhyma k seredyne KhKhI veka v Ukrayne. *Pryrodopol'zovanye*. 2018 №1. S.97-113. 4. Rakhmatullina E. R., Hrebin' V. V. Ocinka majbutnix tendencij zmin karaktery`sty`k gidrologichnogo rezhymu richok basejnu Pivdenного Bugu v zy`movy`j period. *Ukr. gidrometeorol. z.*, 2017, №20. S. 91-98. 5. Krakovskaja S. V., Palamarchu L.V., Djukel' A. Regional'naja model' (REMO) v izuchenii sil'nyh osadkov v Karpatah. *Meteorologija, klimatologija ta gidrologija: Mizhregion. zb.* 2008. № 50. S. 75–80. 6. Vrazly`vi ekosy`stemy` Polys`kogo pry`rodnogo zapovidny`ka ta jogo okoly`cz` v umovax global`nogo poteplinnya: problemy` ta shlyaxy` vy`rishennya / Balabukh V.O., Zhy`la S.M., Orlov O.O., Yaremchenko O.A. Kyiv: Vy`d-vo TOV «NVP Interservis», 2013. 92 s. 7. Karl E. Taylor, Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl. An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bulletin of the American Meteorological Society*.

2012. Vol. 93, № 4. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1> **8.** Krakovska S., Gnatiuk N., Shpytal T., Shedemenko I. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine. *Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX (Brussels, Belgium)*. 2013. URL: http://cordex2013.wcrp-climate.org/posters/P2_44_Kravovska.pdf. **9.** Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Shedemenko I.P., Diukel' H.O., Gnatiuk N.V. Veryfikatsiia danykh svitovoho klimatichnoho tsentu (CRU) ta rehional'noi modeli klimatu (REMO) schodo prohnozu pryzemnoi temperatury povitria za kontrol'nyj period 1961-1990 rr. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*. 2008. Vyp. 257. S.42-60. **10.** Balabukh V. O., Malytska L. V. Otsiniuvannia suchasnykh zmin termichnoho rezhymu Ukrainy. *Heoinformatyka*. 2017. № 4(64). S. 34-49. **11.** *Klimat Ukrainy / za red. V. M. Lipins'koho, V. A. Diachuka, V. M. Babichenko*. K.: Vydavnytstvo Raievs'koho, 2003. 343 s.

Ймовірні зміни кліматичних умов України до середини XXI ст.

Малицька Л.В., Балабух В.О.

У статті встановлено вірогідні зміни середніх багаторічних значень для літнього та зимового сезонів основних кліматичних показників: температури повітря, швидкості вітру та відносної вологості повітря до середини XXI ст. (2021-2050 рр.) відносно сучасного кліматичного періоду, оцінено статистичну значущість виявлених змін та їхні ймовірні значення за даними регіональної кліматичної моделі REMO/ESCM5 для сценарію SRES A1B.

Ключові слова: ймовірні значення кліматичних показників; сценарій A1B; зміни клімату; температура; швидкість вітру; вологість.

Вероятные изменения климатических условий Украины к середине XXI в.

Малицкая Л.В., Балабух В.А.

В статье установлены вероятные изменения средних многолетних значений для летнего и зимнего сезонов основных климатических показателей: температуры воздуха, скорости ветра и относительной влажности до середины XXI века. (2021-2050 гг.) относительно современного климатического периода, оценена статистическая значимость выявленных изменений и вероятные значения климатических показателей за данными региональной климатической модели REMO / ESCM5 для сценария SRES A1B.

Ключевые слова: вероятные значения климатических показателей; сценарий A1B; изменения климата; температура; скорость ветра; влажность.

Possible changes of climate conditions in Ukraine to the middle of the XXI century

Malytska L. V., Balabukh V. O.

In Ukraine, as in the world, substantial climatic changes have happened throughout past decades. It is a fact that they are manifested in changing of parameters of the thermal regime, regimes of wind and humidity. It is expected that they will be observed also in future that will lead to aggravation of negative effects and risks due to climate change. That determines the relevance of the problem of forecasting such changes in future both globally and regionally. After all, knowledge of climate's behavior in future is very important in the development of strategies, program and measures to adapt to climate change.

The article is devoted to assessing spatio-temporal distribution main climatic indicators (air temperature, wind speed and relative humidity) in Ukraine, their variability and the probable values to the middle of the 21st century (2021-2050). Projection of changes in meteorological conditions was made for A1B scenario of SRES family using data of the regional climate model REMO and data from the hydrometeorological observation network of Ukraine (175 stations). Estimated data obtained from the European FP-6 ENSEMBLES project with a resolution of 25 km. For spatial distribution (mapping) we used open-source Geographic Information System QGIS, type of geographic coordinate system for project is WGS84.

In the middle of the XXI century, if A1B scenario is released, it is expected a significant changes of climatic parameters regarding the 1981-2010 climatic norm: air temperature is rise by 1,5 °C, average wind speed is decrease by 5-8%, relative humidity in winter probably drop by 2%, but in summer it rises by 1,5%. The unidirectionality of the changes is characteristic only of air temperature, for wind speed and relative humidity the changes are in different directions. The intensity of changes is also not uniform across the country for all climatic parameters, has its regional and seasonal features. Statistical likelihood for most of highlighted changes for all climatic parameters is 66 % and more, the air temperature change is virtually certain (p-level <0.001).

Keywords: probable values of climatic parameters; A1B scenario; climate change; temperature; wind speed; humidity.

Надійшла до редколегії 18.12.2019

ISSN:2306-5680 **Гідрологія, гідрохімія і гідрокологія. 2020. № 1 (56)**