

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ГНАТЮК НАТАЛЯ ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 551.582; 551.58.001.57; 551.509.3

**ПРОЕКЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ТА КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ В УКРАЇНІ
В ХХІ СТОЛІТТІ**

11.00.09 – метеорологія, кліматологія, агрометеорологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата географічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі фізики атмосфери Українського гідрометеорологічного інституту Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України (УкрГМІ ДСНС України та НАН України).

Науковий керівник: кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Краковська Світлана Володимирівна,
Український гідрометеорологічний інститут
ДСНС України та НАН України, старший
науковий співробітник відділу фізики атмосфери

Офіційні опоненти: доктор географічних наук, професор
Хохлов Валерій Миколайович,
Одеський державний екологічний університет
МОН України, проректор з навчально-
методичної роботи

кандидат географічних наук, доцент
Шевченко Ольга Григорівна,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка МОН України,
доцент кафедри метеорології та кліматології

Захист відбудеться «14» квітня 2017 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.22 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка за адресою: м. Київ, МСП-680, проспект Глушкова 2-А, географічний факультет, ауд. 312.

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці імені М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: 01033, м. Київ, вул. Володимирська, 58, к. № 12.

Автореферат розіслано «08» березня 2017 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.001.22,
кандидат географічних наук

А. В. Круківська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За визначенням 13-ї цілі сталого розвитку ООН, сьогодні немає жодної країни в світі, яка б не відчувала серйозних наслідків зміни клімату. Дослідження та прогноз особливостей зміни *регіонального* клімату вже виходять за межі вирішення лише наукових питань і є необхідними для наступних завдань:

- визначення ймовірності та інтенсивності зміни кліматичних умов певної території;
- аналіз чутливості регіону до сучасних та очікуваних кліматичних умов;
- прогноз ймовірності, частоти та інтенсивності виникнення небезпечних і стихійних метеорологічних явищ, кількість яких стрімко зростає в умовах кліматичних змін;
- розробка заходів щодо пом'якшення впливу людини на кліматичну систему та формування адаптаційного потенціалу до сучасних і очікуваних кліматичних умов;
- розробка нових норм і стандартів для кліматозалежних галузей економіки;
- аналіз можливих позитивних і негативних наслідків для здоров'я населення та економіки країни від змінених кліматичних умов;
- стратегічне планування соціально-економічного розвитку країни та її регіонів.

Вагомий внесок у розвиток досліджень особливостей регіонального клімату України та основних причин його зміни зробили Бабіченко М. В., Барабаш М. Б., Волощук В. М., Лялько В. І., Мартазінова В. Ф., Сніжко С. І., Хохлов В. М. та ін. Оцінку чутливості та адаптаційного потенціалу території України до сучасних та ймовірних майбутніх змін клімату представлено у роботах Адаменко Т. І., Божко Л. Ю., Дмитренка В. П., Польового А. М., Степаненка С. М., Шевченко О. Г. та ін. Для подальшого розвитку вітчизняних кліматичних досліджень, інтеграції у міжнародну діяльність та для виконання зобов'язань, прийнятих нашою державою через підписання Паризької угоди 2015 р. в рамках Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, необхідно розробляти довгострокові стратегії розвитку регіонів на основі сценаріїв можливої зміни регіонального клімату, що ґрунтуються на емпіричних, статистичних та чисельних методах прогнозу. Саме прогноз із використанням глобальних та регіональних кліматичних моделей дозволяє отримати деталізовані *проекції*¹ просторово-часових розподілів метеорологічних параметрів.

Одним із важливих завдань розвитку кліматичних досліджень в Україні є аналіз впливу зміни регіонального клімату на різні галузі економіки з метою сприяння їх сталому розвитку через надання рекомендацій щодо розробки та впровадження адаптаційних заходів. Сільське господарство є однією з найбільш кліматозалежних галузей економіки та одним із основних видів економічної діяльності в Україні і тому особливо потребує дослідження можливих позитивних і негативних наслідків від змінених кліматичних умов.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась у Відділі фізики атмосфери Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ) ДСНС України та НАН України в рамках таких науково-дослідних робіт: НДР «Чисельний прогноз регіонального клімату України на основі сценаріїв можливих

¹ Згідно з номенклатурою ВМО «**проекцією**» є змодельований відгук кліматичної системи на сценарій майбутніх викидів/концентрацій парникових газів і аерозолів. Відмінність від прогнозу полягає у залежності від обраного сценарію викидів/концентрацій, що в свою чергу визначається сценарієм соціально-економічного та технологічного розвитку суспільства.

глобальних кліматичних змін у XXI столітті» (№ ДР 0108U007657, 2008-2010 pp.), НДР «Дослідження регіональних особливостей зміни клімату в Україні у XXI ст. на основі чисельного моделювання» (№ ДР 0111U001571, 2011-2013 pp.) та НДР «Кількісна оцінка та прогнозування стану кліматичної системи України за даними спостережень та регіональних кліматичних моделей» (№ ДР 0114U004595, 2014-2016 pp.) на замовлення Українського гідрометеорологічного центру; НДР «Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей» (№ ДР 0112U005845, 2012-2013 pp.) на замовлення ДУ «Національний центр обліку викидів парникових газів»; НДР «Дослідження вразливості до змін клімату енергетичної галузі, включаючи процеси виробництва електричної і теплової енергії, передачу і споживання паливно-енергетичних ресурсів», розділ «Оцінка впливу можливих змін клімату на стік річок в Україні» на замовлення Інституту газу України НАН України; європейського проекту «Climate of the Carpathian Region» («Клімат Карпатського регіону» 2010-2013 pp., № контракту 110-166082 (574951)) на замовлення Інституту Екології та стійкого розвитку (Institute for Environment and Sustainability, м. Іспра, Італія); підготовка 5-го та 6-го Національного повідомлення України з питань зміни клімату на виконання статті 4-ї та 12-ї Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та статті 7-ї Кіотського протоколу; Нансенівської програми підтримки аспірантів норвезького Центру з навколишнього середовища та дистанційного зондування імені Нансена за 2013-2016 pp. (Nansen Fellowship Program, Nansen Environmental and Remote Sensing Center, м. Берген, Норвегія).

Мета і завдання дослідження. *Метою* дослідження є встановлення тенденцій зміни регіонального клімату на основі отриманих в ансамблевому чисельному моделюванні проєкцій полів приземної температури повітря та кількості опадів на території України в XXI ст.

Для досягнення поставленої мети виконувалися наступні *завдання*:

- проаналізувати сучасні вітчизняні та зарубіжні наукові публікації, які висвітлюють проблематику, що є предметом дисертаційного дослідження;
- виконати збір і систематизацію даних наземних спостережень метеорологічної мережі та електронних баз даних для двох кліматичних характеристик – приземної температури повітря та кількості опадів для території України; створити базу даних значень досліджуваних кліматичних величин на основі розрахунків за моделями загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО) та регіональними кліматичними моделями (РКМ);
- апробувати методику та побудувати проєкції зміни температури повітря та кількості опадів в Україні в XXI ст. за даними ансамблів глобальних кліматичних моделей для трьох сценаріїв викидів парникових газів IPCC SRES: B1, A2 та A1B;
- визначити основні тенденції зміни середніх річних і сезонних значень температури повітря та кількості опадів для сучасного періоду та до кінця XXI ст. по десятиріччях за побудованими проєкціями глобальних моделей;
- побудувати деталізовані проєкції змін температури повітря та кількості опадів за рекомендованими оптимальними ансамблями регіональних кліматичних моделей;
- апробувати для території України методику зниження модельної помилки

проекцій РКМ адитивним та мультиплікативним методами на основі значень змодельованих змін у майбутні періоди відносно сучасного періоду та даних наземних спостережень за сучасний період;

- встановити тенденції просторового розподілу абсолютних значень кліматичних характеристик та їх відносних змін щодо сучасного клімату для всієї території України та 5-ти виділених регіонів в XXI ст. за побудованими проекціями РКМ;
- визначити спеціалізовані кліматичні показники вологозабезпеченості території України у XXI ст. на основі побудованих проекцій температури та опадів.

Об'єктом дослідження є приземна температура повітря та кількість опадів на території України з другої половини XX ст. до кінця XXI ст.

Предмет дослідження – встановлення можливих змін температури повітря та кількості опадів на території України у XXI ст. за даними ансамблів глобальних та регіональних кліматичних моделей.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні використано результати чисельних експериментів за моделями загальної циркуляції атмосфери та океану та регіональними кліматичними моделями, які осереднювалися за окремими для температури повітря та кількості опадів ансамблями.

У роботі застосовано чисельні та статистичні методи обробки кліматологічної інформації, в тому числі й методи оцінки точності стандартних баз даних і наборів даних, отриманих за допомогою чисельних моделей. З метою зниження модельної помилки, проекції абсолютних значень приземної температури повітря у прогностичні періоди знаходилися адитивним, а кількості опадів – мультиплікативним методом із залученням даних наземних спостережень за базовий період.

Обчислення основних статистичних показників для кількісної оцінки кліматичних характеристик здійснювалося за допомогою програмного пакету CDO (Climate Data Operators), візуалізація результатів виконувалася з використанням ГІС-пакетів Surfer і Grapher. Для створення бази даних отриманих результатів, а також їх візуалізації розроблено оригінальний прикладний програмний пакет «UACLIM-2100» на мові програмування Python з використанням бібліотек Matplotlib, Basemap.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- для аналізу та прогнозу тенденцій змін клімату в Україні було отримано деталізовані просторові проекції основних кліматичних характеристик – температури повітря та кількості опадів на основі ансамблевого осереднення результатів чисельного моделювання;
- встановлено тенденції просторово-часового розподілу середніх річних, сезонних і місячних значень температури повітря та кількості опадів для всієї території України та окремо для 5-ти виділених за подібними фізико-географічними особливостями регіонів за результатами розрахунків глобальних і регіональних кліматичних моделей;
- встановлено загальний характер зміни вологозабезпеченості території України протягом XXI ст. відносно сучасного періоду та кліматичної норми на основі отриманих проекцій температури повітря та кількості опадів, а саме отримано просторові розподіли спеціалізованих кліматичних показників: ГТК Селянінова та

двох індексів посушливості клімату – індексу аридності Де Мартонна та Пінна;

- за результатами дослідження сформовано базу даних отриманих проєкцій абсолютних значень досліджуваних кліматичних характеристик для трьох періодів у майбутньому та їх відносних змін щодо сучасного періоду;

Удосконалено:

- методику корекції проєкцій можливих змін кліматичних характеристик у майбутньому адитивним і мультиплікативним методами з використанням модельних розрахунків та інтерпольованих у вузли регулярної сітки даних мережі наземних спостережень: апробовано для території України.

Дістали подальший розвиток:

- дослідження просторово-часової зміни температури повітря та кількості опадів фізико-математичними (чисельними) методами;

- застосування ансамблевого осереднення для зменшення модельної розрахункової похибки та уточнення проєкцій;

- використання ансамблів з 10 РКМ для температури повітря та з 4 РКМ для кількості опадів, що визначені як оптимальні для дослідження та прогнозування відповідних кліматичних показників для території України.

Наукові положення, що виносяться на захист.

1. Розраховані зміни приземної температури повітря та кількості опадів в Україні в XXI ст. за отриманими проєкціями середньорічних і сезонних значень для сучасного періоду та до кінця XXI ст. по десятиріччях за даними серій розрахунків 10-ти МЗЦАО для трьох сценаріїв викидів парникових газів IPCC SRES: B1, A2 та A1B;

2. Встановлені тенденції зміни середніх річних, сезонних і місячних значень температури повітря та кількості опадів для сучасного клімату та трьох періодів у майбутньому для всієї території України та окремо для 5-ти виділених регіонів на основі рекомендованих ансамблів РКМ;

3. Визначені спеціалізовані кліматичні показники для аналізу прогнозованих змін вологозабезпеченості території України у XXI ст. на основі побудованих проєкцій із застосуванням розробленого прикладного програмного пакету «UACLIM-2100».

Практичне значення роботи. Отримані результати можуть бути використані для стратегічного планування економічного та соціального розвитку як всієї країни, так і окремих міст і регіонів. Зокрема, отримані проєкції ймовірних змін температури повітря були рекомендовані для використання в Інституті газу НАН України для розробки нових норм щодо опалювального періоду в регіонах України. Розроблений оригінальний програмний пакет «UACLIM-2100», що дозволяє отримувати дані із сформованої бази у вигляді карт або таблиць, є орієнтованим на широке коло користувачів, які потребують кліматичних даних, і в перспективі буде застосований на веб-сторінці УкрГМІ для візуалізації в онлайн-режимі отриманих у дослідженні результатів. Визначені та проаналізовані сучасні та ймовірні майбутні зміни кліматичного та агрокліматичного районування є наочним прикладом практичної цінності та можливостей подальшого використання розробленого програмного пакету та отриманих здобувачем результатів.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно сформовано базу даних

модельних розрахунків та наземних спостережень, що включає вихідні масиви чисельних експериментів моделей загальної циркуляції атмосфери та океану міжнародного проекту CMIP3, регіональних кліматичних моделей європейського проекту FP-6 ENSEMBLES, баз даних наземних спостережень, інтерпольованих у вузли регулярної сітки, CRU та E-Obs, даних метеорологічної мережі та Кліматичного кадастру України. Автором здійснено основну частину математичних обчислень для статистичного аналізу даних і побудови проєкцій, виконано графічне представлення. За скорегованими проєкціями температури повітря та кількості опадів проведено оцінку вологозабезпеченості території України з другої половини ХХ до кінця ХХІ ст., а саме розраховано спеціалізовані кліматичні показники: ГТК Селянінова, індекси аридності Де Мартонна та Пінна. Автором самостійно систематизовано базу даних отриманих результатів дисертаційного дослідження та розроблено програмний пакет «UACLIM-2100» для їх візуалізації та подальшого використання. За участі наукового керівника здійснено узагальнення та аналіз отриманих результатів.

Апробація результатів дослідження. Отримані результати досліджень були представлені на 11-ти міжнародних наукових конференціях та семінарах: Міжнародній конференції «Глобальні та регіональні зміни клімату» (м. Київ, 2010 р.); «12-му щорічному з'їзді Європейської метеорологічної спілки та 9-тій Європейській конференції з прикладної кліматології» («12th EMS Annual Meeting & 9th European Conference on Applied Climatology - ECAC», м. Цюрих, 2010 р.); Науково-практичному семінарі «Ієрархічне моделювання клімату» («Workshop on Hierarchical Modeling of Climate», м. Трієст, 2011 р.); Генеральних асамблеях Європейського союзу наук про Землю («General Assembly of European Geosciences Union», м. Відень, 2012 і 2013 рр.); «Міжнародній науковій конференції з регіональних проблем гідрометеорології та моніторингу навколишнього середовища» («Международная научная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды», м. Казань, 2012 р.); «Другому семінарі з водних ресурсів у країнах, що розвиваються: Планування і управління за різних сценаріїв кліматичних змін» («2nd Workshop on Water Resources in Developing Countries: Planning and Management in a Climate Change Scenario», м. Трієст, 2013 р.); «Міжнародній конференції з питань регіонального клімату» («International Conference on Regional Climate – CORDEX», м. Брюссель, 2013 р.); Міжнародній конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія: Актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одеса, 2014 р.); 5-тій міжнародній конференції «Проблеми гідрометеорологічного забезпечення господарської діяльності в умовах змін клімату» («Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата» м. Мінськ, 2015 р.); Міжнародному семінарі зі змін клімату (International Climate Change Workshop, м. Будапешт, 2016); на наукових семінарах Відділу фізики атмосфери УкрГМІ, Міжнародного центру з навколишнього середовища та дистанційного зондування імені Нансена (м. Санкт-Петербург) і на засіданнях вченої ради УкрГМІ.

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 19-ти наукових працях загальним обсягом 5,27 умовних друкованих аркушів, у тому числі

в 5-и статях у вітчизняних фахових наукових періодичних виданнях, рекомендованих МОН України, одній статті в іноземному науковому фаховому виданні, одній статті в інших виданнях, 12 матеріалах і тезах доповідей всеукраїнських і закордонних наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел (205 найменувань) та 3-х додатків. В роботі наведено 47 рисунків та 15 таблиць. Загальний обсяг складає 180 сторінок (у тому числі 20 ст. додатків).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Сучасні дослідження зміни глобального клімату та його регіональних проявів на території України» представлено узагальнений огляд літературних джерел за темою дисертаційного дослідження, що висвітлюють сучасний стан проблеми: розглянуто основні чинники формування кліматичних умов на території України; проаналізовано особливості сучасної зміни глобального клімату та регіональний відгук на них кліматичних умов України; досліджено основні причини таких змін; розглянуто підходи щодо аналізу та довгострокового прогнозу зміни клімату; узагальнено основні наукові досягнення міжнародної наукової спільноти та вітчизняні здобутки у вирішенні питань, щодо теми дисертаційного дослідження.

Значна площа та просторова нерівномірність території України, різноманітність форм рельєфу та велика протяжність морської берегової лінії призводить до суттєвої регіональної неоднорідності кліматичних умов. Взаємодія кліматотвірних факторів визначає своєрідний регіональний характер прояву зміни глобального клімату. Для території України на тлі загального потепління відмічається стійка тенденція до збільшення частоти та інтенсивності небезпечних та стихійних гідрометеорологічних явищ, а також спостерігаються значні сезонні та регіональні відмінності у швидкості зміни кліматичних умов.

Основними методами аналізу та довгострокового прогнозу клімату виступають чисельні й фізико-статистичні методи, а також методи з використанням аналогів кліматичних періодів у минулому. Визначено, що два останні підходи не є достатньо ефективними у вирішенні задач побудови саме деталізованих просторово-часових розподілів кліматичних характеристик на довгострокову перспективу. Крім цього, враховуючи беззаперечність значного антропогенного впливу на сучасну зміну глобального клімату, це ускладнює задачу прогнозування можливих майбутніх змін, керуючись лише знаннями про кліматичні умови минулого (реконструкції) або сучасного періоду (дані спостережень). В свою чергу, чисельні методи, а саме використання моделей загальної циркуляції атмосфери та океану, дозволяють змоделювати взаємодію системи океан-атмосфера та виявити її зміни в результаті варіації факторів радіаційного впливу. Однак антропогенні концентрації парникових газів та аерозолів залишаються прогностично невизначеними. Велика кількість міжнародних проектів та програм за останні десятиріччя сприяють бурхливому розвитку кліматичних моделей та підходів щодо аналізу їх проєкцій, а також

допомагають об'єднати зусилля міжнародної спільноти для зменшення впливу людини на клімат та збільшення адаптаційного потенціалу до його майбутніх змін.

Сучасні особливості зміни регіонального клімату України, а також ймовірні причини цих змін детально висвітлено у роботах Бабіченко М. В., Барабаш М. Б., Волощука В. М., Лялько В. І., Мартазінової В. Ф., Сніжка С. І., Хохлова В. М. та ін. Оцінку чутливості та адаптаційного потенціалу території України до сучасних та ймовірних майбутніх змін клімату представлено у роботах Адаменко Т. І., Божко Л. Ю., Дмитренка В. П., Польового А. М., Степаненка С. М., Шевченко О. Г. та ін. Однак, для подальшого розвитку вітчизняних кліматичних досліджень, інтеграції у міжнародну діяльність та для виконання зобов'язань, прийнятих нашою державою через підписання Паризької угоди 2015 р. в рамках Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, необхідно розробляти індивідуальні довгострокові стратегії розвитку регіонів, що мають базуватися на сценаріях ймовірних змін клімату. Встановити деталізовані у просторі тенденції змін регіонального клімату в ХХІ ст. доцільно на основі отриманих в ансамблевому чисельному моделюванні проєкцій полів приземної температури повітря та кількості опадів на території України.

У другому розділі «Особливості використання даних чисельних кліматичних моделей в Україні» розглянуто використані матеріали та методи досліджень. Побудова деталізованих у просторі проєкцій температури повітря та кількості опадів виконувалася на основі розрахунків двох типів кліматичних моделей: загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО, друга назва – глобальні моделі) та регіональних кліматичних моделей (РКМ), що були обрані серед моделей-учасників міжнародних проєктів CMIP3 та FP-6 ENSEMBLES відповідно. З метою скорочення систематичної розрахункової похибки, результати чисельних експериментів осереднювалися для МЗЦАО за визначеним у ході дослідження ансамблем із 10-ти моделей для обох величин, а для РКМ – за ансамблем з 10-ти РКМ для температури повітря та з 4-х РКМ для кількості опадів, що були сформовані науковим керівником та рекомендовані як оптимальні для аналізу та прогнозу відповідних кліматичних показників на території України. Варто зазначити, що проєкції МЗЦАО аналізувалися для трьох сценаріїв викидів парникових газів та аерозолів IPCC SRES: B1, A1B, A2 (всього 84 набори даних), тоді як розрахунки РКМ для проєкту ENSEMBLES були виконані лише для одного сценарію A1B.

Методика побудови деталізованих проєкцій полягала у додаванні/множенні змодельованих змін температури повітря/кількості опадів у три прогностичні періоди (2011-2030 рр., 2031-2050 рр. і 2081-2100 рр.) відносно значень наземних спостережень за базовий період (1991-2010 рр.). Застосовані адитивний/ мультиплікативний методи дозволили отримати скореговані абсолютні значення у прогностичні періоди. За результатами порівняльних оцінок з базою даних CRU та значеннями з Кліматичного кадастру України, електронна база даних E-Obs зарекомендувала себе задовільно і тому була використана в якості базових значень інструментальних спостережень для побудови проєкцій абсолютних значень у прогностичні періоди.

Наприкінці розділу представлений огляд розробленого здобувачем оригінального програмного пакету «UACLIM-2100» на мові Python, що включає в

себе сформовану базу використаних модельних даних, значень з бази E-Obs та всіх результатів власних розрахунків, а саме побудованих проєкцій температури повітря, кількості опадів і комплексних показників зволоженості території України. Пакет «UAClim-2100» дозволяє легко отримувати дані із сформованої бази у вигляді карт або таблиць, орієнтований на широке коло користувачів, які потребують кліматичні дані, і в перспективі буде застосований на веб-сторінці УкрГМІ для візуалізації в онлайн-режимі отриманих у дослідженні результатів.

У третьому розділі «Проекції температури повітря та кількості опадів в Україні в XXI ст. за даними глобальних кліматичних моделей» представлено результати аналізу особливостей зміни у XXI ст. середньорічних та сезонних значень приземної температури повітря та кількості опадів на території України на основі сформованого ансамблю з 10-ти МЗЦАО міжнародного проекту СМІР3. Всього проаналізовано 84 серій розрахунків за трьома сценаріями викидів парникових газів та аерозолів IPCC SRES: B1, A1B, A2.

На основі даних глобальних моделей отримано проєкції температури повітря та кількості опадів, які розраховані як середні, мінімальні та максимальні значення у виділеній за крайніми точками території України області. На рис. 1 отримані результати представлено у вигляді часових серій (залежність від часу) з п'ятирічними ковзними середніми.

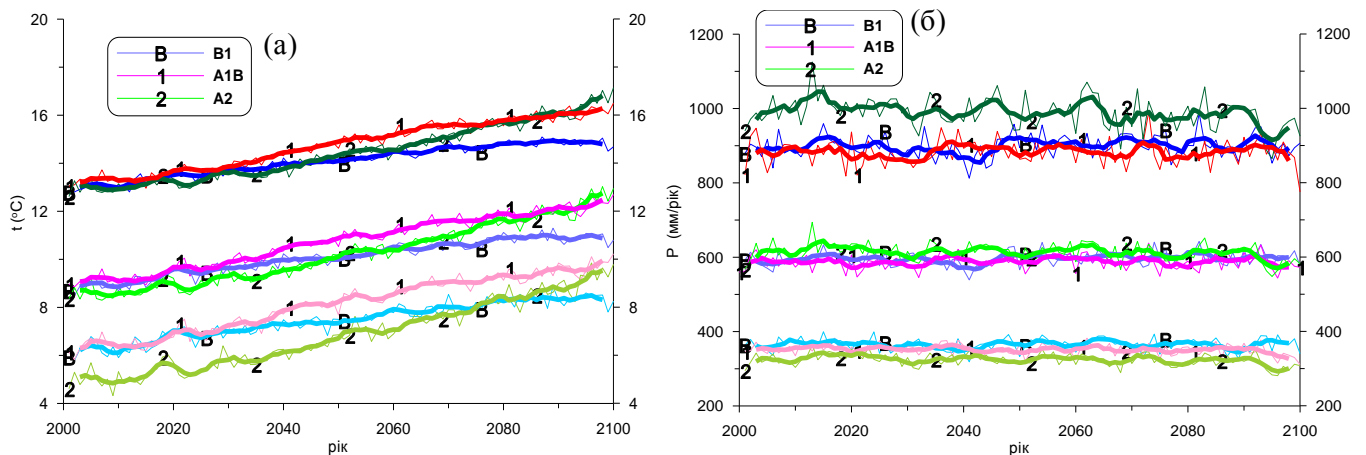


Рис. 1. Проекції мінімальних, середніх та максимальних за територією середньорічних температур повітря (а) та кількості опадів (б) в Україні у XXI столітті за ансамблем з 10 МЗЦАО для трьох сценаріїв викидів парникових газів IPCC SRES: B1, A2 та A1B (потовщені лінії – п'ятирічні ковзні середні)

З рис. 1(а) видно, що за модельним ансамблем прогнозується стале підвищення як середньої, так і мінімальної з максимальною за виділеною територією річних температур повітря протягом XXI ст. за усіма сценаріями. Найбільше підвищення значень, а також найвища неузгодженість за розглянутими сценаріями отримана для річних мінімальних за територією температур, що загалом відповідає глобальним тенденціям. Найменша амплітуда розподілу значень протягом всього сторіччя отримана за сценарієм B1, найбільша – за A2. Щодо кількості опадів (рис. 1б), річні суми мають більшу дисперсію значень у часі (найбільша дисперсія отримана для максимальних за площею значень), у тому числі і для п'ятирічних ковзних середніх, але в середньому за період залишаються практично без змін для трьох сценаріїв.

Також було проаналізовано зміни досліджуваних кліматичних показників у окремі сезони до кінця XXI ст. по десятиріччям відносно періоду 2001-2010 рр. У табл. 1 наведені коефіцієнти лінійних трендів температури повітря та кількості опадів у всі сезони для трьох сценаріїв. В усередненому річному ході температура повітря буде підвищуватися з середнім коефіцієнтом лінійного тренду $0,35^{\circ}/10р.$ (загальний діапазон усіх значень становить $0,19-0,68^{\circ}/10р.$), тоді як для середньорічних сум опадів отримано від'ємний коефіцієнт лінійного тренду $-0,18\text{мм}/10р.$ (з загального діапазону значень $-5,52-2,54\text{мм}/10р.$). Аналіз проєкцій для окремих сезонів показав, що підвищення температури повітря в XXI ст. по території України відбуватиметься для усіх сценаріїв за рахунок збільшення мінімальних за територією та середніх значень температур зимового сезону (B1 – $0,35$ і $0,29^{\circ}/10р.$, A1B – $0,53$ і $0,41^{\circ}/10р.$, A2 – $0,68$ і $0,52^{\circ}/10р.$ відповідно) та максимальних за територією значень влітку (B1 – $0,23^{\circ}/10р.$, A1B – $0,40^{\circ}/10р.$, A2 – $0,46^{\circ}/10р.$). Слід зауважити, що за досліджуваною територією очікується, що температура підвищуватиметься інтенсивніше там, де вона була найнижчою. Для сум опадів очікується збільшення значень взимку і навесні та в основному зменшення влітку та восени. Коефіцієнти лінійного тренду для середніх за територію значень кількості опадів для літа: B1 = $-0,80\text{мм}/10р.$, A1B = $-1,85\text{мм}/10р.$ та A2 = $-3,05\text{мм}/10р.$ Згідно результатів, очікується перерозподіл річного ходу сум опадів.

Таблиця 1.

Коефіцієнти лінійного тренду по сезонах для трьох сценаріїв

Сценарії та сезони	Температура, $^{\circ}/10$ років			Опади, мм/10 років			
	мінім.	сер. зн.	максим.	мінім.	сер. зн.	максим.	
B1	зима	0,35	0,29	0,19	0,47	0,61	0,72
	весна	0,24	0,22	0,20	0,54	1,03	1,63
	літо	0,21	0,21	0,23	-0,56	-0,80	-1,35
	осінь	0,22	0,21	0,19	0,23	0,17	-0,15
A1B	зима	0,53	0,41	0,31	0,17	1,23	2,08
	весна	0,41	0,37	0,34	0,08	1,03	1,62
	літо	0,35	0,37	0,40	-0,85	-1,85	-3,35
	осінь	0,40	0,37	0,35	-1,14	0,01	-0,10
A2	зима	0,68	0,52	0,39	0,61	1,95	2,54
	весна	0,41	0,38	0,35	0,87	1,07	1,13
	літо	0,39	0,42	0,46	-1,74	-3,05	-5,52
	осінь	0,44	0,43	0,40	-1,30	-1,90	-2,65

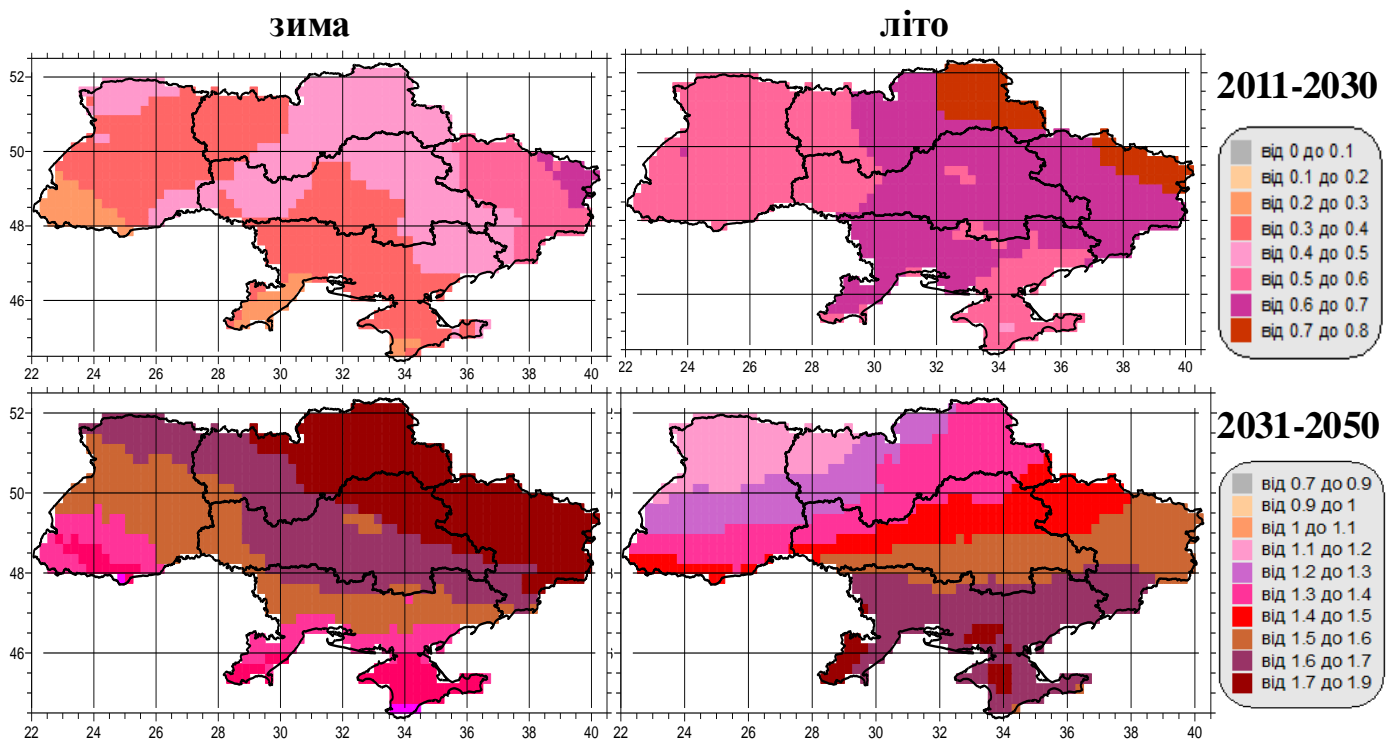
Просторовий крок МЗЦАО дозволяє проаналізувати лише загальні тенденції зміни розглянутих кліматичних показників. Тому наступним в дослідженні було залучення розрахунків регіональних кліматичних моделей для дослідження просторових відмінностей кліматичних змін.

У четвертому розділі «Проєкції температури повітря та кількості опадів в Україні в XXI ст. за даними ансамблів РКМ» представлено результати аналізу тенденцій змін середніх місячних, сезонних та середньорічних значень приземної температури повітря та кількості опадів для території України в цілому та для 5-ти виділених регіонів у XXI ст. відносно сучасного кліматичного періоду 1991-2010 рр.,

отриманих на основі проєкцій рекомендованих ансамблів з 10-ти РКМ для температури та з 4-х РКМ для опадів європейського проєкту FP-6 ENSEMBLES для сценарію викидів парникових газів та аерозолів A1B. Також наведені отримані абсолютні значення для прогностичних періодів, що були розраховані на основі змодельованих змін та даних наземних спостережень електронної бази E-Obs за сучасний період 1991-2010 рр. адитивним та мультиплікативним методами.

Для всебічного дослідження можливих регіональних відмінностей кліматичних умов, аналіз за прогностичними проєкціями виконувався окремо для всіх вузлів модельної сітки 25 x 25 км, 5-ти виділених регіонів і для всієї країни в цілому. Розглядалися три 20-річні прогностичні періоди: 2011-2030 рр., 2031-2050 рр., 2081-2100 рр. Зауважимо, що застосовані ансамблі РКМ були сформовані у відділі фізики атмосфери УкрГМІ та визначені як оптимальні для аналізу та прогнозу регіональних особливостей відповідних кліматичних величин на території України. Розглянуті окремі регіони: захід, північ, схід, південь і центр були виділені за подібністю фізико-географічних умов та враховували адміністративно-територіальний поділ держави. Таке районування сприятиме використанню результатів дослідження при стратегічному плануванні соціально-економічного розвитку окремих регіонів, а також при розробці адаптаційних і пом'якшувальних заходів до змін клімату.

Аналіз проєкцій середніх температур повітря показав, що у найближчий період 2011-2030 рр. у середньому для території України температура підвищиться на 0,4-0,5°C, у діапазоні від 0,1°C у західному регіоні весною до 0,8°C на північному-сході влітку (рис. 2). В наступний 20-річний період 2031-2050 рр. в середньому по території



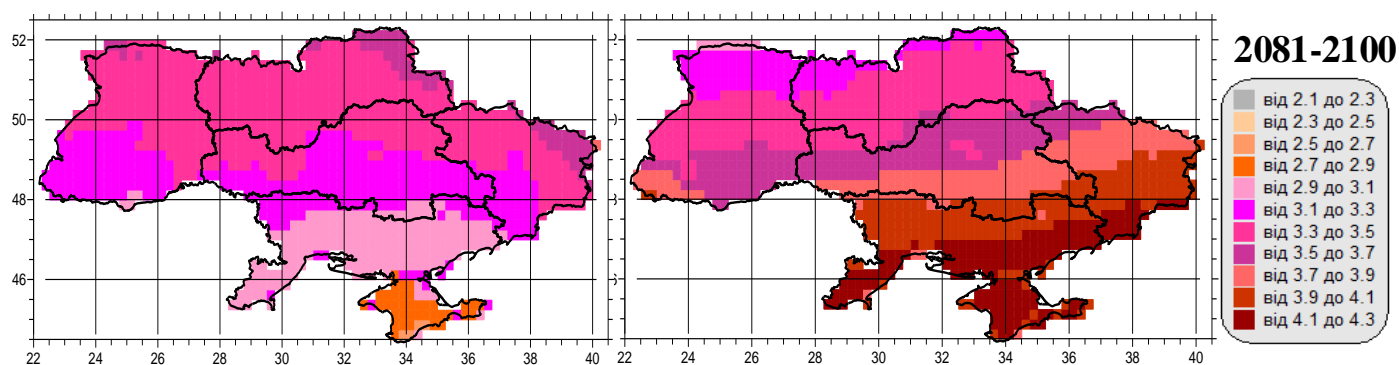


Рис. 2. Зміни температури повітря взимку і влітку у три прогнозні періоди 2011-2030 рр., 2031-2050 рр., 2081-2100 рр. відносно сучасного 1991-2010 рр. за ансамблем з 10 РКМ

значення температури збільшуватимуться відносно сучасного клімату на 1,2-1,5°C, у діапазоні від 0,7°C на заході навесні до 1,9°C на північному сході взимку. На кінець сторіччя 2081-2100 рр. в середньому по території температура зросте на 2,9-3,3°C з мінімальним значенням 2,1°C у західному регіоні весною та максимальними підвищеннями температури на 4,3°C в південному регіоні та на півдні східного регіону влітку. Найменші зміни прогнозуються для західного регіону в усі сезони, а також для всіх регіонів навесні для всього сторіччя.

Розраховані абсолютні значення середньої температури для окремих місяців у три прогнозні періоди подано у табл. 2. Також для порівняння у таблиці наведено значення наземних спостережень за сучасний період. Основні тенденції прогнозованих кліматичних умов у XXI ст. наступні. На кінець сторіччя у західному та південному регіонах буде відсутній кліматичний зимовий сезон, оскільки у зимові місяці отримано середні значення вищі за 0°C. В той же час для літа прогнозуються середньомісячні температури вище 25°C для східного та південного регіонів. За отриманими результатами видно, що зміна кліматичних умов у майбутньому суттєво впливатиме на тривалість кліматичних сезонів в Україні.

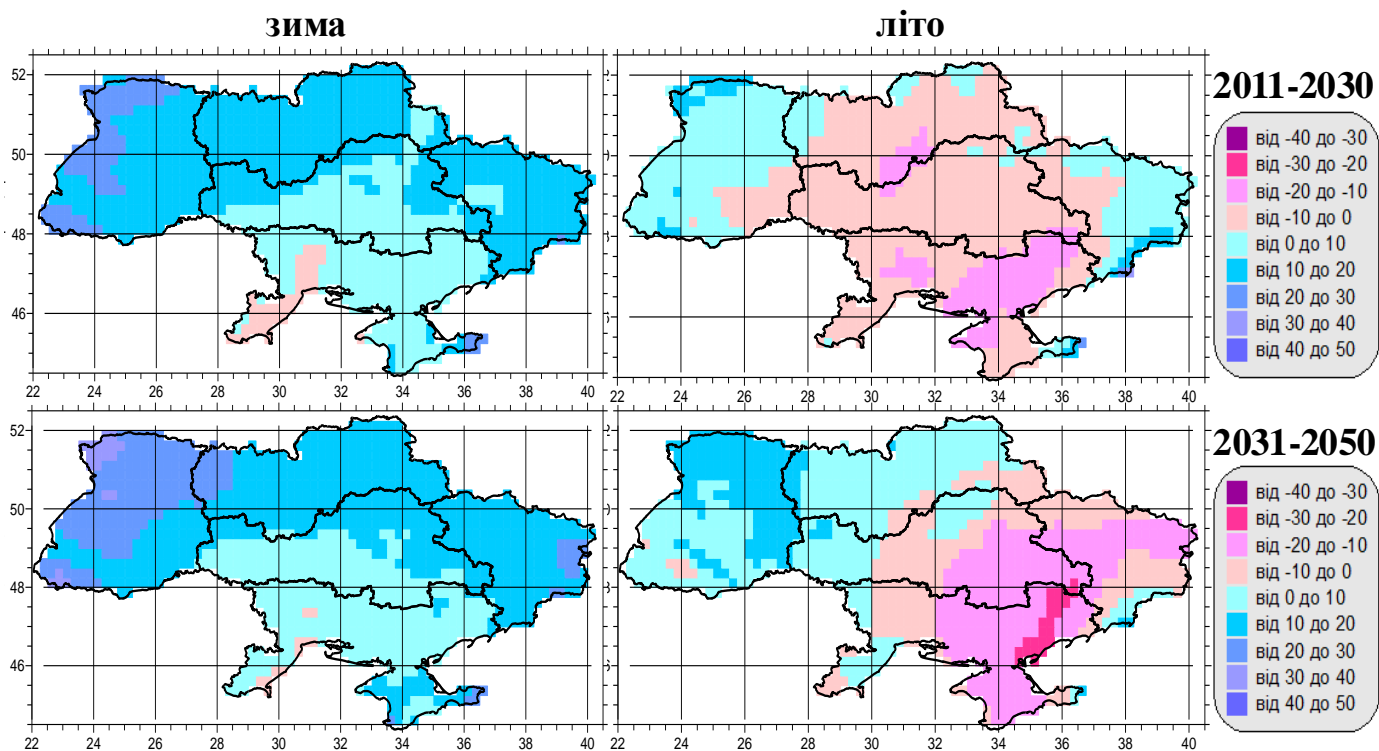
Таблиця 2.

Середньомісячні температури повітря за ансамблем з 10 РКМ у три прогнозні періоди для окремих регіонів, для періоду 1991-2010 рр. наведено значення E-Obs

	період	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	1991-2010	-3,7	-3,2	1,5	9,1	14,8	18,3	20,6	19,6	13,8	8,0	1,9	-3,1	8,2
	2011-2030	-3,6	-3,2	1,2	9,3	15,2	19,0	21,2	20,2	14,4	8,6	2,5	-2,0	8,6
	2031-2050	-1,9	-2,1	2,5	10,0	15,6	19,5	21,8	21,0	15,2	9,3	3,6	-0,8	9,5
	2081-2100	-0,5	-0,2	4,2	11,4	17,1	21,1	24,1	23,4	17,1	10,5	5,2	1,0	11,2
Захід	1991-2010	-3,0	-2,0	2,1	8,6	14,0	17,1	19,2	18,5	13,3	8,2	2,8	-2,3	8,0
	2011-2030	-2,7	-2,0	1,9	8,8	14,3	17,5	19,8	19,2	14,1	8,8	3,3	-1,5	8,4
	2031-2050	-1,4	-1,0	2,8	9,4	14,8	18,2	20,4	19,9	14,5	9,5	4,5	-0,3	9,3
	2081-2100	0,2	0,8	4,5	10,7	16,2	19,9	22,8	22,4	16,7	10,9	6,1	1,6	11,1
Центр	1991-2010	-3,5	-2,7	2,1	9,6	15,4	19,1	21,6	20,6	14,9	8,8	2,6	-2,5	8,7
	2011-2030	-3,3	-2,7	1,9	9,9	15,8	19,8	22,2	21,2	15,5	9,3	3,1	-1,4	9,3
	2031-2050	-1,7	-1,8	3,1	10,5	16,4	20,4	23,1	22,3	16,3	10,2	4,0	-0,3	10,2
	2081-2100	-0,3	0,0	4,7	11,9	17,9	22,2	25,5	24,7	18,4	11,4	5,8	1,4	12,0

Схід	1991-2010	-4,2	-3,7	1,6	9,5	15,5	19,7	22,2	21,1	15,1	8,7	1,9	-3,2	8,7
	2011-2030	-3,9	-3,6	1,3	9,9	15,9	20,5	22,9	21,6	15,6	9,2	2,7	-1,9	9,2
	2031-2050	-2,3	-2,6	2,8	10,5	16,4	21,0	23,8	22,8	16,6	10,2	3,6	-0,7	10,2
	2081-2100	-0,9	-0,8	4,5	12,1	18,2	23,0	26,3	25,3	18,6	11,3	5,3	0,8	12,0
Південь	1991-2010	-1,5	-0,7	3,6	9,9	15,9	20,3	23,1	22,4	16,8	10,9	4,8	-0,0	10,5
	2011-2030	-1,4	-0,7	3,5	10,3	16,3	20,9	23,7	22,9	17,5	11,3	5,3	1,0	10,9
	2031-2050	0,1	0,1	4,6	10,8	17,0	21,7	24,7	24,2	18,3	12,3	6,2	2,0	11,8
	2081-2100	1,5	1,8	6,2	12,4	18,6	23,9	27,4	26,6	20,6	13,6	8,0	3,5	13,7
Україна	1991-2010	-3,1	-2,4	2,2	9,3	15,1	18,9	21,3	20,4	14,7	8,9	2,8	-2,1	8,9
	2011-2030	-2,9	-2,4	2,0	9,6	15,5	19,5	21,9	21,0	15,4	9,4	3,4	-1,1	9,3
	2031-2050	-1,4	-1,4	3,2	10,2	16,0	20,1	22,7	22,0	16,1	10,3	4,4	0,0	10,2
	2081-2100	0,1	0,4	4,8	11,6	17,6	21,9	25,1	24,4	18,3	11,6	6,1	1,7	12,0

Щодо режиму зволоження, в усі розглянуті періоди прогнозується як збільшення так і зменшення по території середньомісячних та сезонних сум опадів (рис. 3). В найближчий період 2011-2030 рр. опади зменшуються максимально до 20% в центральному, північному та південному регіонах влітку та восени, а також зростають максимально до 42% на заході, півночі та сході взимку та навесні. До середини сторіччя 2031-2050 рр. опади зменшуються максимально до 30% в центральному, південному та східному регіонах влітку та зростають максимально до 50% у західному, північному, східному регіонах і у східній частині південного регіону взимку та навесні. На кінець сторіччя 2081-2100 рр. опади зменшуються максимально до 40% в південному, центральному та східному регіонах влітку та збільшуються понад 40% до 50% на заході та півночі в зимовий та весняний сезони. Отже, максимальне збільшення середньомісячних сум опадів очікується взимку та навесні на заході і на півночі країни в усі прогнозні періоди. Зменшення кількості опадів прогнозується у літній і осінній сезони в центральному, південному та східному регіонах в усі прогнозні періоди.



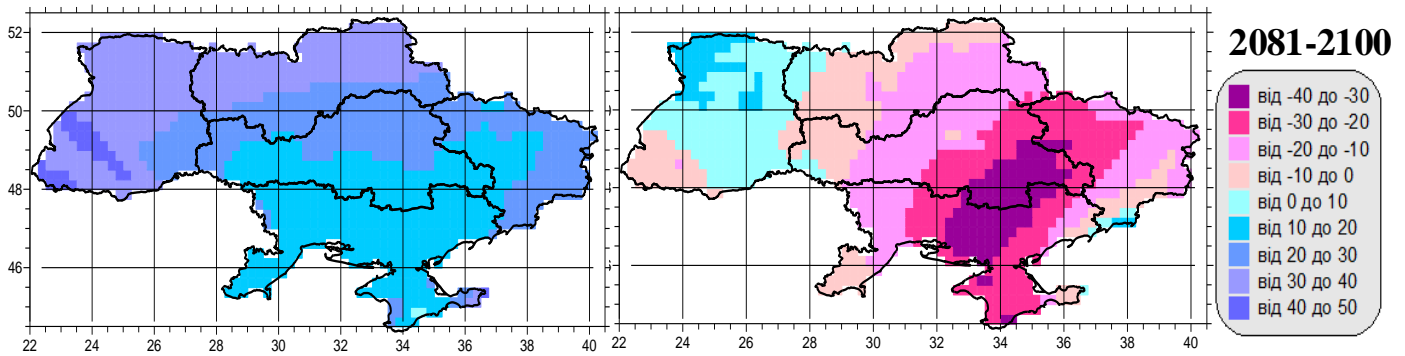
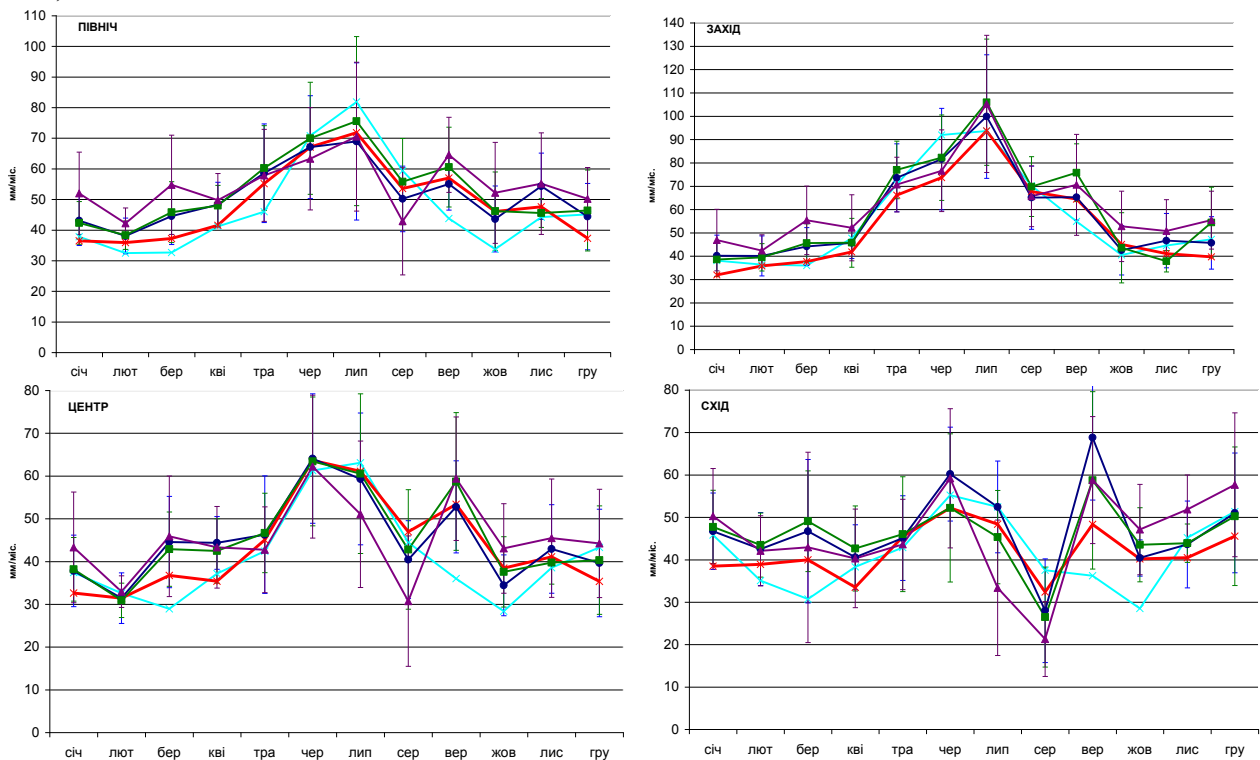


Рис. 3 Зміни кількості опадів (%) взимку та влітку у три прогностні періоди 2011-2030 рр., 2031-2050 рр., 2081-2100 відносно 1991-2010 рр. за ансамблем з 4 РКМ

Річний хід кількості опадів у окремих регіонах та в середньому для території України у XXI ст. наведено на рис. 4, а саме на графіках зображено розподіли значень у період кліматичної норми 1061-1990 рр. та сучасного клімату 1991-2010 рр. за даними спостережень бази E-Obs та розподіли у три прогностні періоди 2011-2030 рр., 2031-2050 рр., 2081-2100 рр. за скорегованими проєкціями ансамблю з 4 РКМ з врахуванням розмаху значень ансамблю. З графіків видно, що в цілому для України, а також для центрального, північного та західного регіонів річний хід характеризується добре вираженим максимумом влітку та більш згладженим мінімумом взимку майже для усіх розглянутих періодів. Зниження кількості опадів у три прогностні періоди відбуватиметься за рахунок значень у серпні на всій території країни за виключенням західного регіону де змін не очікується. Збільшення кількості опадів у зимовий сезон відбуватиметься за рахунок значень грудня та січня по всій території. Максимальні середньомісячні суми опадів на кінець сторіччя відмічаються влітку на заході (у липні – 105 мм) і півночі (у липні – 71 мм), мінімальні суми опадів очікуються також влітку на сході і півдні (у серпні – 21 мм).



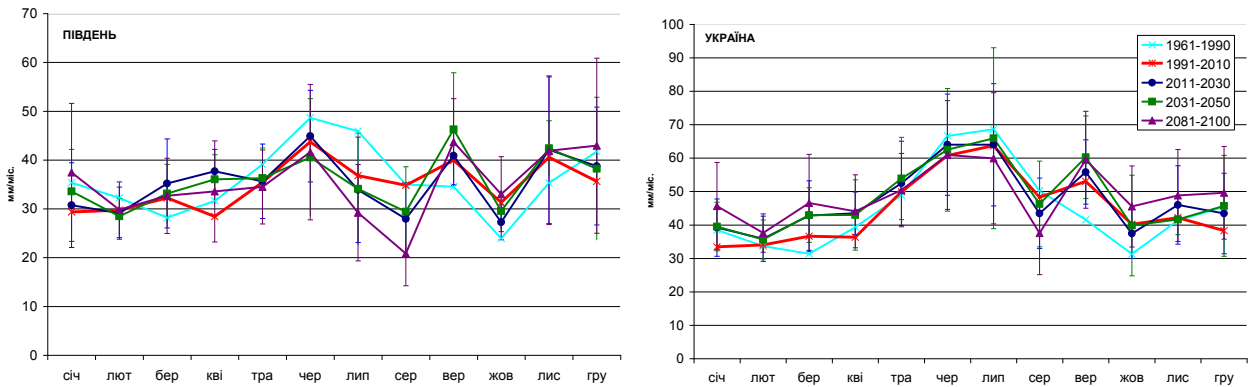
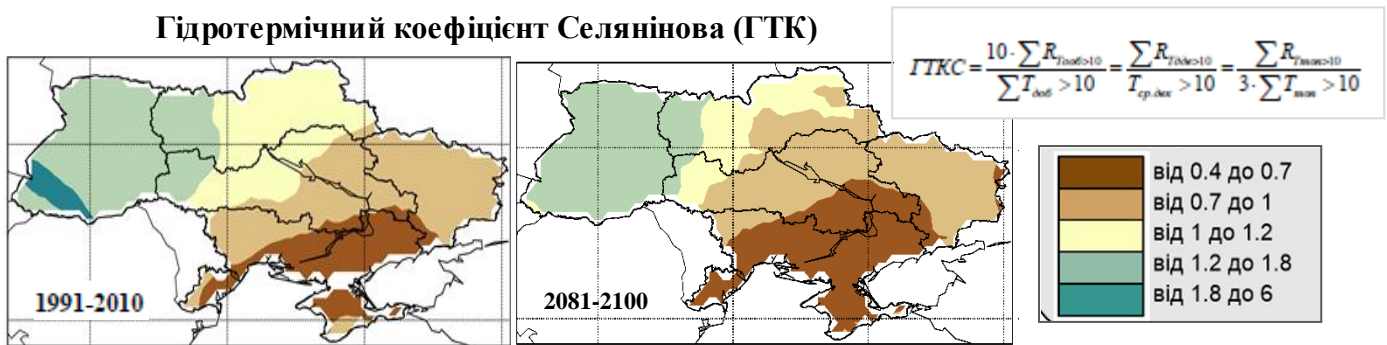


Рис 4. Річний хід кількості опадів (мм) у стандартний кліматичний період 1961-1990 рр., період сучасного клімату 1991-2010 рр. (за даними E-Obs) та три прогнозні періоди зі значеннями розмаху ансамблю з 4 РКМ до кінця XXI ст. по регіонах і для всієї України

У п'ятому розділі «Наукове та прикладне застосування побудованих проєкцій кліматичних характеристик в XXI ст. в Україні» розглядаються перспективи використання отриманих у дисертаційному дослідженні проєкцій температури повітря та кількості опадів для вирішення прикладних та наукових задач на прикладі прогнозу спеціалізованих кліматичних характеристик (СКХ) щодо посушливості клімату, які можуть бути використані для стратегічного планування економіки регіонів, зокрема, сільського господарства. Розраховано значення гідротермічного коефіцієнту Селянінова (ГТК) та двох індексів посушливості клімату: індекс аридності Де Мартона (De Martonne Aridity Index – DMI) та комбінований індекс Пінна (Pinna Combinativ Index – PCI) для періоду кліматичної норми 1961-1990 рр., сучасного клімату 1991-2010 рр. та трьох періодів впродовж XXI ст. (2011-2030 рр., 2031-2050 рр. і 2081-2100 рр.). Значення СКХ були розраховані для кожного вузла регулярної модельної сітки 25x25 км, що дозволило отримати їх деталізовані просторові розподіли для всієї території України (Рис. 5). Розподіли розраховані та візуалізовані за допомогою розробленого дисертантом програмного пакету «UACLIM-2100».



Індекс аридності Де Мартона (De Martonne Aridity Index)

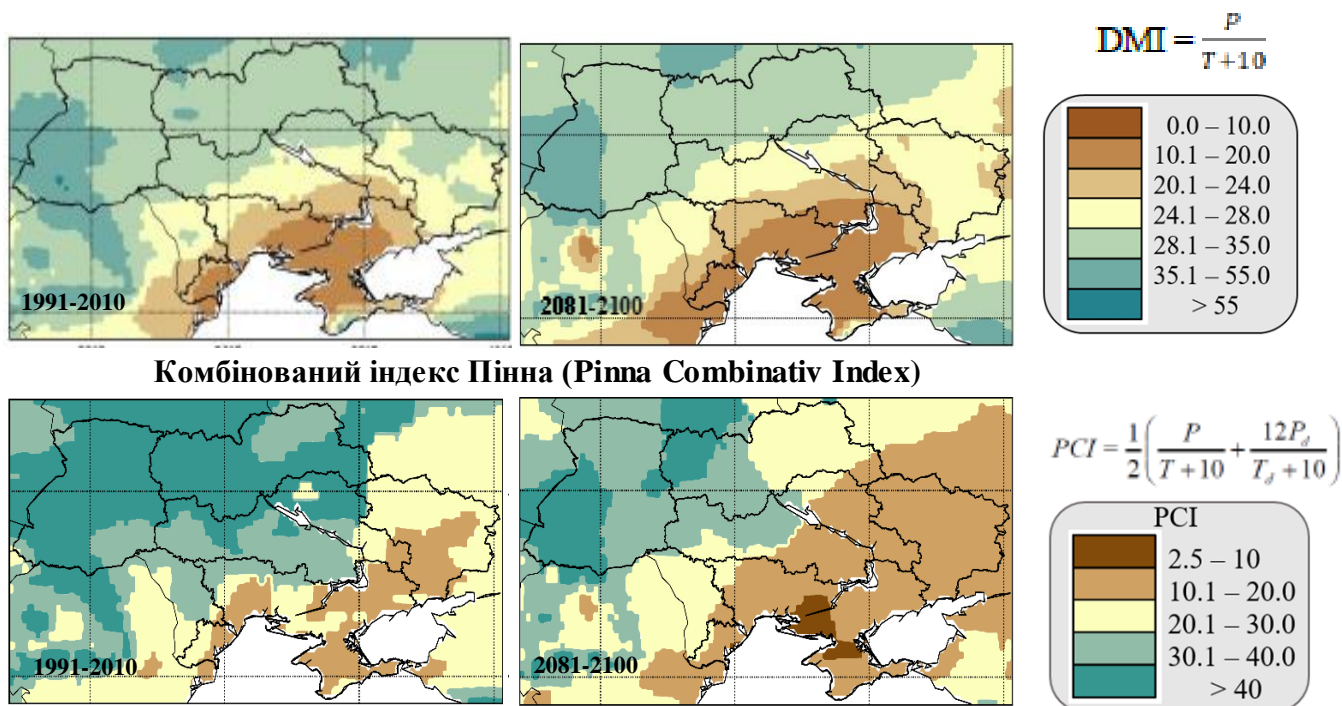


Рис. 5. Просторові розподіли ГТК Селянінова, індексу аридності Де Мартонна та комбінованого індексу Пінна для сучасного клімату 1991-2010 рр. та прогнозного періоду 2081-2100 рр.

Встановлено загальний характер зміни вологозабезпеченості території України у XXI ст. відносно сучасного періоду 1991-2010 рр. та кліматичної норми 1961-1990 рр. Найбільших змін у бік зниження зволоженості території зазнають наступні регіони: для Українських Карпат та Закарпаття спостерігається перехід від зволоженого до помірно-вологого типу клімату; для південного берегу Криму очікується перехід від помірно-волого до помірно-сухого типу клімату; тип клімату південної частини Одеської області та східного регіону змінюється від помірно-сухого до сухого. Загалом очікується поступове збільшення посушливості територій України у напрямку з півдня на північний-схід.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі встановлено тенденції зміни регіонального клімату на основі отриманих в ансамблевому чисельному моделюванні проєкцій полів приземної температури повітря, кількості опадів та показників зволоженості території України з кінця XX та до кінця XXI століття.

1. Отримано проєкції середньорічних та сезонних значень температури повітря та кількості опадів за даними ансамблю з 10-ти моделей загальної циркуляції атмосфери та океану для трьох сценаріїв викидів парникових газів і аерозолів IPCC SRES: B1, A2 та A1B у XXI ст.;

2. На основі розрахованих проєкцій здійснено аналіз тенденцій зміни температури повітря та кількості опадів по десятиріччям за період 2001-2100 рр. Встановлено, що максимальне підвищення температури повітря в XXI ст. відбуватиметься взимку у тих регіонах України, де значення середньої температури були мінімальними, та влітку у тих регіонах, де значення були максимальними. Очікується перерозподіл річного ходу кількості опадів, зокрема виявлено тенденції до збільшення кількості опадів взимку і навесні та зменшення для літа та осені.

3. Розраховано проєкції середніх річних, сезонних та місячних значень приземної температури повітря та кількості опадів для трьох прогностичних періодів у ХХІ ст. для території України на регулярній сітці 25 x 25 км на основі даних регіональних кліматичних моделей та наземних спостережень з електронної бази даних E-Obs адитивним та мультиплікативним методами.

4. Проаналізовано зміни досліджуваних кліматичних показників у три прогностичні періоди (2011-2030 рр., 2031-2050 рр., 2081-2100 рр.) відносно сучасного клімату (1991-2010 рр.) за рекомендованими ансамблями РКМ європейського проекту FP-6 ENSEMBLES для сценарію викидів парникових газів та аерозолів IPCC SRES A1B для всієї території України в цілому та для 5-ти виділених регіонів.

5. Встановлено, що в середньому по території країни відносно сучасного періоду 1991-2010 рр. температура підвищиться на 0,4-0,5°C в найближчий період 2011-2030 рр., на 1,2-1,5°C до середини сторіччя 2031-2050 рр. і на 2,9-3,3°C на віддалену перспективу 2081-2100 рр. Локалізація максимального підвищення температури різна для різних періодів: 2011-2030 рр. на північному сході влітку температура зросте на 0,8°C; 2031-2050 рр. знову на північному-сході взимку зросте на 1,9°C; 2081-2100 рр. на півдні та південному-сході температура підвищиться 4,3°C влітку. Найменші зміни температури повітря очікуються для західного регіону в усі сезони, а також для всіх регіонів навесні.

6. Встановлено, що у найближчий період очікуваний діапазон змін кількості опадів від -20% до +42%, до середини сторіччя – від 18% до 37% і на віддалену перспективу від -40% до +48%. Максимальне збільшення середньомісячних сум опадів очікується в усі періоди взимку і навесні у західному та північному регіонах. Найсуттєвіше зменшення кількості опадів прогнозується в літній та осінній сезони в центральному, південному та східному регіонах в усі періоди.

7. Розроблено оригінальний прикладний програмний пакет «UACLIM-2100», що містить базу даних всіх розрахованих полів метеорологічних показників та дозволяє користувачу отримувати результати дослідження у вигляді карт або таблиць.

8. На основі отриманих в дисертаційному дослідженні проєкцій температури повітря та кількості опадів із застосуванням розробленого програмного пакету, визначені та проаналізовані показники зволоженості території України, зокрема ГТК Селянінова, індекси аридності Де Мартонна та Пінна. Встановлено загальний характер зміни вологозабезпеченості у ХХІ ст. відносно сучасного періоду 1991-2010 рр. та кліматичної норми 1961-1990 рр. Виявлено поступове збільшення посушливості територій України у напрямку з півдня на північний-схід та зниження вологозабезпеченості Українських Карпат, південного берегу Криму, півдня Одеської області та східного регіону.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Паламарчук Л. В. Сезонні зміни клімату в Україні в ХХІ столітті / Л. В. Паламарчук, **Н. В. Гнатюк**, С. В. Краковська та ін. // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2010. – Вип. 259. – С. 104-120 (*здобувачем виконано розрахунок сезонних значень температури повітря та кількості опадів в середньому для території України у*

- XXI ст. на основі даних МЗЦАО; проведено аналіз лінійних трендів по десятиріччям).*
2. Шедеменко І. П. Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури повітря та кількості опадів у адміністративних областях України / І. П. Шедеменко, С. В. Краковська, **Н. В. Гнатюк** // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2012. – Вип. 262. – С. 71-90 (*здобувачем проаналізовано результати верифікації двох баз даних CRU та E-Obs щодо значень метеомережі окремо для адміністративних областей та в середньому для всієї території України*).
 3. Краковська С. В. Зміни поверхневого річкового стоку в Україні до 2050 р. за проекцією регіональної кліматичної моделі RЕМО / С. В. Краковська, **Н. В. Гнатюк** // Геоінформатика. – 2013. – № 3. – С. 76-81 (*здобувачем проведено систематизацію та статистичне опрацювання вихідних даних поверхневого стоку для окремих сезонів та сумарно за рік за значеннями регіональної кліматичної моделі RЕМО*).
 4. Краковська С. В. Можливі сценарії кліматичних умов у Тернопільській області впродовж ХХІ ст. / С. В. Краковська, **Н. В. Гнатюк**, Т. М. Шпиталь // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Географія. – 2014. – №. 1. – С. 55-67. (*здобувачем розроблено сценарії зміни місячних значень температури та вологості повітря і кількості опадів на території Тернопільської області для трьох періодів ХХІ ст. на основі оптимальних ансамблів регіональних кліматичних моделей*).
 5. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті / С. В. Краковська, **Н. В. Гнатюк**, Т. М. Шпиталь, Л. В. Паламарчук // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2016. – Вип. 268. – С. 33-44. (*здобувачем проведено систематизацію та статистичне опрацювання вихідних даних по температурі повітря для окремих місяців, сезонів та сумарно за рік для всієї території України та для 5-ти виділених регіонів за значеннями оптимального ансамблю регіональних кліматичних моделей*).
- Статті в іноземних наукових фахових виданнях:*
6. Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables / J. Spinoni, S. Szalai, T. Szentimrey та ін. у т.ч. **Gnatiuk N.** // International Journal of Climatology. – 2015. – С. 1322–1341. (*здобувачем виконано гомогенізацію даних спостережень метеомережі по мінімальній, середній та максимальній температурі повітря та висоті снігового покриву для території Українських Карпат за період 1961-2010 рр.*).
- Статті в інших виданнях:*
7. Краковська С. В. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозуванні змін регіонального клімату України в ХХІ ст. / С. В. Краковська, Л. В. Паламарчук, І. П. Шедеменко та ін. у т.ч. **Н. В. Гнатюк** // Геофизический журнал. – 2011. – Т 33, № 6. – С. 68-81 (*здобувачем сформовано ансамбль з 10 МЗЦАО та розраховано значення двох кліматичних характеристик для України у ХХІ ст.: всього проаналізовано 84 модельні розрахунки для 3-х сценаріїв викидів B1, A1B, A2*).
- Тези наукових доповідей:*
8. **Gnatiuk N. V.** Ensemble of AOGCMs in the study of seasonal climate changes in Ukraine for the 21st century / N. V. Gnatiuk, S. V. Krakovska, L. V. Palamarchuk et al. // Global and regional climate changes : зб. матеріалів між. наук. конф. – Київ, 2010. – С. 50.

9. Krakovska S. Projected climate changes in Ukraine based on a multi-scenario AOGCM's ensemble / S. Krakovska, L. Palamarchuk, **N. Gnatiuk** et al. // EMS Annual Meeting : збірник тез між. наук. конф. – Цюрих, 2010. – Том 7 – № EMS2010-94.
10. **Gnatiuk N.** Homogenization and quality control of temperature datasets for Ukrainian stations of the Carpathian region / N. Gnatiuk, S. Krakovska // EGU General Assembly 2012 : збірник тез. наук. конф. – Відень, 2012. – Том 15. – № EGU2012-959-4.
11. Krakovska S. Analysis and projections of climate change impacts on flood risks in the Dniester river basin based on the ENSEMBLES RCM data / S. Krakovska, V. Balabukh, **N. Gnatiuk** et al. // EGU General Assembly 2012 : збірник тез між. наук. конф. – Відень, 2012. – Том 14. – № EGU2012-863-2.
12. Краковская С. В. Численные проекции климатических изменений до 2050 года на примере Луганской области / С. В. Краковская, **Н. В. Гнатюк**, Г. А. Дюкель // Межд. научн. конф. по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды : збірник тез. між. наук. конф. – Казань, 2012. – С.155-156.
13. Krakovska S. The best ensembles of RCMs for climate change projections in Ukraine / S. Krakovska, **N. Gnatiuk**, L. Palamarchuk, I. Shedemenko // EGU General Assembly 2013 : зб. тез. між. наук. конф. – Відень, 2013. – Том 15. – № EGU2013-889-1.
14. **Gnatiuk N.** Climate change projections for Ukraine in the 21st century based on the best RCM ensembles / N. Gnatiuk, S. Krakovska, L. Palamarchuk, A. Bilozerova // EGU General Assembly 2013 : зб. тез. між. конф. – Відень, 2013. – Том 15. – № EGU2013-889-1.
15. Krakovska S. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine / S. Krakovska, **N. Gnatiuk**, T. Shpytal, I. Shedemenko // International Conference on Regional Climate CORDEX : матеріали міжн. конф. – Брюссель, 2013 – С. 152.
16. **Gnatiuk N.** Climate change projections for the 21st century and their impact on water resources and energy sector in Ukraine / N. Gnatiuk, S. Krakovska, T. Shpytal et al. // Int. Conf. on Regional Climate CORDEX : матер. міжн. конф. – Брюссель, 2013. – С. 241.
17. **Гнатюк Н. В.** Проекції змін клімату в південному регіоні України / Н. В. Гнатюк, С. В. Краковська, Л. В. Паламарчук та ін. // Сучасна гідрометеорологія : актуальні проблеми та шляхи їх вирішення : тези доп. Міжн. наук. конф. молодих вчених. – Одеса : ТЕС, 2014. – С. 162-163.
18. **Гнатюк Н. В.** Характеристики отопительного периода в Украине до середины XXI века по данным региональной климатической модели REMO / Н. В. Гнатюк, С. В. Краковская, Т. Н. Шпиталь, Л. В. Паламарчук // Проблемы гидрометеорол. обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: Материалы научной конф. – Минск : ИЦ БГУ, 2015. – С. 211-213.
19. Krakovska S. Heating period features in Ukraine till the middle of the 21st century based on ensemble and individual RCM projections / S. Krakovska, T. Shpytal, **N. Gnatiuk** et al. // International Climate Change Workshop: матеріали практичного семінару. – Будапешт, 2016. – С. 10-11.

АНОТАЦІЯ

Гнатюк Н. В. Проекції температури повітря та кількості опадів в Україні в XXI столітті. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук за спеціальністю 11.00.09 – метеорологія, кліматологія, агрометеорологія. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка Міністерства освіти і науки України, Київ, 2016.

Дисертація присвячена встановленню тенденцій змін регіонального клімату на основі отриманих у ансамблевому чисельному моделюванні проєкцій полів приземної температури повітря та кількості опадів на території України в XXI ст. Проведено аналіз тенденцій змін середніх місячних, сезонних та середньорічних температур повітря та кількості опадів у XXI ст. на основі даних моделей загальної циркуляції атмосфери та океану та регіональних кліматичних моделей для різних сценаріїв викидів парникових газів IPCC SRES: B1, A2, A1B. Розраховано проєкції середніх річних, сезонних та місячних значень приземної температури повітря та кількості опадів для трьох прогностичних періодів у XXI ст. для території України на регулярній сітці 25 x 25 км на основі отриманих змодельованих змін та даних наземних спостережень. Розроблено прикладний програмний пакет «UACLIM-2100» для роботи користувача з результатами дослідження. За скорегованими проєкціями температури повітря та кількості опадів проведено оцінку сучасної та очікуваної вологозабезпеченості території України протягом XXI ст., зокрема розраховано та проаналізовано спеціалізовані кліматичні показники: ГТК Селянінова, індекси аридності Де Мартонна та Пінна для всіх вузлів модельної сітки. Виявлено поступове збільшення посушливості територій України у напрямку з півдня на північний-схід та зниження вологозабезпеченості території Українських Карпат, південного берегу Криму, півдня Одеської області та східного регіону.

Ключові слова: зміна регіонального клімату, модель загальної циркуляції атмосфери та океану, регіональна кліматична модель, температура повітря, кількість опадів.

АННОТАЦІЯ

Гнатюк Н. В. Проекции температуры воздуха и количества осадков в Украине в XXI веке. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 11.00.09 – метеорология, климатология, агрометеорология. – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко Министерства образования и науки Украины, Киев, 2016.

Диссертация посвящена исследованию изменений регионального климата территории Украины в XXI веке с помощью полученных в ансамблевом усреднении модельных проекций полей приземной температуры воздуха и количества осадков.

Исследованы особенности изменения среднегодовых и сезонных значений температуры воздуха и количества осадков в Украине для современного периода и до конца XXI века по проекциям, рассчитанным с использованием данных 10-ти моделей общей циркуляции атмосферы и океана проекта CMIP3 для трех сценариев выбросов IPCC SRES: B1, A2 и A1B. Установлено, что максимальное повышение

температуры воздуха в XXI в. будет происходить зимой в тех регионах Украины, где значения средней температуры были минимальными, и летом в тех регионах, где значения были максимальными. Ожидается перераспределение годового хода количества осадков, в частности выявлены тенденции к увеличению количества осадков зимой и весной и уменьшению для лета и осени.

Для более детального анализа региональных особенностей климатических изменений были использованы расчеты 12-ти региональных климатических моделей (РКМ) проекта FP-6 ENSEMBLES для сценария A1B, которые усреднялись по оптимальным ансамблям с 10 РКМ для температуры и с 4 РКМ для осадков. По модельным данным проанализированы изменения среднегодовых, сезонных и среднемесячных значений температуры воздуха и количества осадков для всей территории страны и отдельно для 5-ти выделенных регионов для трех прогнозных периодов: 2011-2030 гг., 2031-2050 гг., 2081-2100 гг. относительно современного периода 1991-2010 гг. Полученные проекции были скорректированы аддитивным и мультипликативным методами с использованием данных наземных наблюдений электронной базы E-Obs. Установлено, что в среднем по территории относительно современного периода 1991-2010 гг. температура повысится на 0,4-0,5°C в начале столетия, на 1,2-1,5°C к середине и на 2,9-3,3°C к концу XXI века. Локализация максимального повышения температуры различна для разных периодов: 2011-2030 гг. на северо-востоке летом температура вырастет на 0,8°C; 2031-2050 гг. на северо-востоке зимой – на 1,9°C; 2081-2100 гг. на юге и юго-востоке температура повысится на 4,3°C летом. Наименьшие изменения температуры воздуха ожидаются для западного региона во все сезоны, а также для всех регионов весной. Для режима увлажнения во все рассмотренные периоды прогнозируется как увеличение, так и уменьшение среднемесячных сумм осадков. В ближайший период диапазон изменений от -20% до +42%, к середине столетия от -18% до +37% и на отдаленную перспективу от -40% до +48%. Максимальное увеличение среднемесячных сумм осадков ожидается во все периоды зимой и весной на западе и на севере страны. Значительное уменьшение прогнозируется в летний и осенний сезоны в центральном, южном и восточном регионах.

Для того, чтобы исследовать как современные и ожидаемые изменения климата воздействуют на региональный гидротермический режим на территории Украины, для каждого узла модельной сетки по скорректированным проекциям температуры и осадков были рассчитаны и проанализированы ГТК Селянинова, а также индексы аридности Де Мартона и Пинна. Обнаружено постепенное усиление аридности территории Украины в направлении с юга на северо-восток и снижение увлажненности территории Украинских Карпат, южного берега Крыма, юга Одесской области и восточного региона. Разработан прикладной программный пакет «UACLIM-2100» для работы пользователя с результатами исследования.

Ключевые слова: изменение регионального климата, модель общей циркуляции атмосферы и океана, региональная климатическая модель, температура воздуха, количество осадков.

SUMMARY

Gnatiuk N. V. The projections of air temperature and precipitation in Ukraine in the 21st century. – Manuscript.

A thesis is submitted for the Candidate Degree in Geography in the specialty 11.00.09 – meteorology, climatology, agrometeorology. – Taras Shevchenko National University of Kyiv of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2016.

The thesis focuses on future trends in regional climate in Ukraine in the 21st century based on Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation (CMIP3) and Regional Climate (ENSEMBLES) Models for different emission scenarios: IPCC SRES B1, A2, and A1B. Monthly, annual and seasonal changes of air temperature and precipitation are analyzed for all territory of Ukraine and its five selected regions for three future periods: 2011-2030, 2031-2050, 2081-2100 relatively modern climate 1991-2010 based on model ensembles. The projections of monthly air temperature and precipitation in the 21st century are obtained on a regular grid of 25 x 25 km by using an additive or a multiplicative method with calculated changes relatively modern climate of ensemble model data and instrumental observations. In order to investigate how current and future climate change impacts on local hydrothermal regime in Ukraine, Selyaninov hydrothermal coefficient and two climate aridity index: De Martonne Aridity Index and Pinna Combinative Index were determined based on obtained 2-m temperature and precipitation projections.

Keywords: climate change, atmospheric-ocean general circulation model, regional climate model, air temperature, precipitation.