

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА

ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

На правах рукопису

УДК 551.509.313.4+551.509.313.5

**«ТОЧНІСТЬ ПРОГНОЗУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У М. РІВНЕ ЗА
ЧИСЕЛЬНОЮ МОДЕЛЛЮ WRF ARW V.4.0»**

Галузь знань **10** – **Природничі науки**

Спеціальність **103** – **Науки про Землю**

Освітня програма **Метеорологія**

Кваліфікаційна робота бакалавра

студентки 4-го курсу

освітнього рівня бакалавр

Луценко Наталії Юріївни

Науковий керівник:

канд.геогр.н. Шпиг Віталій Михайлович

Допустити до захисту:

завідувач кафедри, д-р геогр. наук, проф. Сніжко С. І.

“ _____ ” _____ 2024 р.

Київ – 2024

Використання мезомасштабних чисельних моделей для прогнозування метеорологічних величин – сьогодення та майбутнє сучасної метеорології, але, як будь-яке становлення та осучаснення наук, воно потребує практики використання, аналізування даних і результатів та вибудовування шляхів покращення, які впливатимуть на роботу моделі у майбутньому. У даній роботі вивчаються точність та інші властивості мезомасштабної чисельної моделі WRF ARW v.4.0 щодо прогнозування приземної температури повітря у м. Рівне. В основу дослідження покладено дані фактичних спостережень за температурою повітря та прогнозів моделі WRF ARW v.4.0. Аналіз проводився для осінньо-зимового та весняно-літнього періодів.

Було виявлено, що на точність прогнозів впливає мінливість погодних умов, наприклад, різкі зниження або підвищення температури. Цю закономірність можливо було спостерігати кожного сезону упродовж всього року. Найточнішим прогнозом приземної температури повітря є прогноз на перші 24 години (першу добу), а найменш точним – на 75-96 годину (четверту добу). Також показано, що найменші помилки прогнозів температури повітря спостерігаються у зимові місяці, а найбільші – упродовж квітня - липня.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 МЕЗОМАСШТАБНА ЧИСЕЛЬНА АТМОСФЕРНА МОДЕЛЬ WRF ARW В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУ ПОГОДИ ТА АТМОСФЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	6
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ	15
2.1 Дані наземних спостережень	15
2.2 Дані WRF ARW	15
2.3 Обробка даних та їх аналіз	16
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗІВ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У М. РІВНЕ	22
3.1 Точність прогнозу температури повітря в зимово-осінній період	22
3.2 Точність прогнозу температури повітря у весняно-літній період	51
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
ДОДАТОК А. Діаграми розсіювання, коробчасті діаграми, диференційні розподіли прогнозованих і фактичних значень та помилок прогнозів для м. Рівне у різні місяці 2023 р.	91
ДОДАТОК Б. Кількісні критерії точності прогнозів для м. Рівне у різні місяці 2023 р.	140

ВСТУП

Актуальність теми полягає у використанні результатів цього дослідження в майбутньому для покращення досягнення цілей, як у повсякденному житті, так і для цілей, які мають більш конкретне призначення. Такими цілями можуть слугувати, наприклад, створення деталізованих прогнозів погоди, що є можливим завдяки високій роздільній здатності даної мезомасштабної чисельної моделі WRF ARW v.4.0, що може стати критично-важливим фактором для планування та управління в аеропортах. Що в сенсі актуальності, допоможе в майбутньому своєчасно передбачити, відреагувати та адаптуватись до надходження певних небезпечних метеорологічних явищ, а також, уникнути наслідків цих явищ, завдяки застосуванню представлених досліджень.

Метою є оцінка та аналіз прогнозів за допомогою чисельної моделі WRF ARW v.4.0, визначення рівня їх точності шляхом порівняння результатів прогнозів із фактичними вимірюваннями температури на території міста Рівне, визначення основних факторів, які впливають на точність прогнозів, включаючи початкові умови моделювання та дослідження можливостей інтеграції прогнозів температури в системи управління критичних інфраструктур.

Завдання дослідження:

1. Зібрати дані спостережень за температурою повітря для міста Рівне за 2023 р.
2. Порівняти прогнози моделі з фактичними спостереженнями за температурою повітря, використовуючи загальноприйняті критерії.
3. Оцінити точність прогнозу приземної температури повітря за моделлю WRF ARW v.4.0 для м. Рівне.
4. Дослідити зміни значень помилок прогнозу у залежності від його завчасності та сезонів року.

5. Зробити висновки щодо точності прогнозу температури повітря в місті Рівне, які було отримано за допомогою чисельної моделі WRF ARW v.4.0.

Об'єктом дослідження є прогнозування температури повітря за допомогою чисельної моделі WRF ARW v.4.0.

Предметом дослідження є точність прогнозу температури повітря в місті Рівне за допомогою чисельної моделі WRF ARW v.4.0.

Методологія дослідження включає наступні етапи:

1. Збір та аналіз даних спостережень за температурою повітря, які виконувалися на АМСЦ "Рівне" за 2023 р.

2. Порівняння прогнозів, котрі були отримані за допомогою чисельних мезомасштабних моделей, із фактичними спостереженнями за температурою повітря. Використовувати загальноприйнятні метрики, які рекомендовані Всесвітньою метеорологічною організацією для верифікації чисельних прогнозів погоди, виконати оцінку помилок прогнозів температури.

3. Проаналізувати точність прогнозів моделей у різні сезони та місяці упродовж року.

Структура кваліфікаційної роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (31 найменування) та двох додатків. Робота містить 1 рисунок. Загальний обсяг роботи 142 сторінки.

РОЗДІЛ 1

МЕЗОМАСШТАБНА ЧИСЕЛЬНА АТМОСФЕРНА МОДЕЛЬ WRF ARW В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗУ ПОГОДИ ТА АТМОСФЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

За останні декілька десятиків років, дослідження точності прогнозу погоди завдяки чисельним атмосферним мезомасштабним моделям, показали, що прогнози погоди, отримані за допомогою чисельних моделей є точнішими та ефективнішими у використанні метеорологами, ніж синоптичні прогнози, котрі створюються власноручно, без допомоги чисельного моделювання [8, 10, 29]. Чисельне моделювання – це процес створення математичних моделей або програм, що дозволяють аналізувати та прогнозувати різні фізичні явища чи процеси, які відносно є важкими чи, навіть, неможливими для аналізування іншими аналітичними методами [5, 13, 14]. У даному чисельному моделюванні реальні системи та процеси пояснюються та представляються у вигляді математичних рівнянь фізики та термодинаміки атмосфери, які, важко розрахувати звичайній людині, але набагато легше та можливо розв'язати на комп'ютері. Такі рівняння можуть описувати взаємодію різних фізичних факторів та змінних, а їх розв'язок дозволяє спостерігати та аналізувати, як система може змінюватись із часом чи за різних умов. Чисельне моделювання використовується не лише у метеорології, а іще і в інших науках, як фізика, інженерія, біологія і інші [1, 3, 4, 12, 16, 17]. Моделі, які створенні на основі використання чисельного моделювання дозволяють вченим, без великої витрати часу та зусиль, відтворювати експерименти, які було б важко виконати без допомоги цих систем. А також дослідники мають можливість прогнозувати надходження небезпечних явищ з набагато більшою точністю, ніж до існування цих систем [11, 17-20]. Для того, щоб використовувати математичне моделювання та моделі на його основі, необхідно мати глибоке розуміння метеорології та самого чисельного моделювання, аби ефективно користуватися цією моделлю

для успішного досягнення своїх цілей, було можливим. Основою для чисельних атмосферних мезомасштабних моделей у метеорології є такі фізичні закони та рівняння фізики атмосфери [5, 10, 21, 23]:

1. Рівняння збереження маси – дане рівняння описує зміни щільності повітря в просторі та з часом.

2. Рівняння руху (Нав'є-Стокса) – ці рівняння описують рух повітря під впливом тиску, сили Коріоліса, градієнтів температури та інших фізичних чинників.

3. Рівняння збереження енергії – дане рівняння означає, як теплова енергія обмінюється в атмосфері через конвективні потоки, радіаційне випромінювання та інші процеси.

4. Рівняння збереження вологості – ці рівняння враховують переніс вологи в атмосфері.

У метеорології використовуються такі типи чисельних моделей:

- Атмосферні чисельні моделі [18, 19]: моделі, які призначені для складання та здійснення прогнозів погоди та передбачення надходження небезпечних атмосферних явищ. До цих моделей можна віднести WRF ARW, GFS (Global Forecast System - розроблена Національною Метеорологічною Службою в США, використовується для створення прогнозів погоди на глобальному рівні), ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - Європейський центр середньострокових прогнозів погоди, який використовує дану модель для створення прогнозів погоди глобального та регіонального масштабу).

- Кліматичні моделі [17, 27]: моделі, які використовуються для моделювання та аналізування довгострокових кліматичних змін глобального масштабу. Основними прикладами даного типу математичних моделей є: CCSM (Community Climate System Model – розроблена для вивчення, прогнозування та спостереження за кліматичними змінами, та їх впливу на земну поверхню та систему) та HadCM3 (Hadley Centre Climate Model 3 –

дана модель використовується британськими метеорологічним центром із дослідження клімату).

- Регіональні та локальні моделі атмосферних прогнозів [2, 3, 9, 15]: сюди можна віднести деякі моделі, які відомі саме своїми точними прогнозами атмосферних явищ на регіональному рівні. Сюди можна також віднести і модель WRF ARW, але тільки за умов проведення спостережень, які орієнтовані на окремі регіони на невеликих територіях.

- Океанічні моделі та моделі системи «Океан-атмосфера» [28, 30]: такі системи можуть використовуватися для досліджень взаємодії між атмосферою та океаном, потоками повітря, характерними лише для цих областей та яким чином впливає підстильна поверхня океану на зміну атмосферних явищ і передбачення виникнення небезпечних атмосферних явищ, які пов'язані із впливом океану на переніс повітря у атмосфері.

- Атмосферного-хімічні моделі [30, 31]: моделі цього типу застосовуються вченими для оптимізування спостережень за хімічним забрудненням та його розподілом на території, створення прогнозів для майбутнього передбачення утворення небезпечних атмосферних явищ за подібних гранично допустимих концентрацій хімічних часток у повітрі, з можливістю запобігання критичних наслідків для населення.

Різниця між цими типами чисельних моделей полягає у різних масштабах їх аналізу та прогнозу, цілях використання різних моделей та функціоналу кожної моделі в залежності від мети та області її використання. Чисельні моделі глобального аналізу призначені для створення прогнозів погоди та передбачення небезпечних кліматичних та атмосферних явищ на глобальному рівні. Чисельні моделі регіонального аналізу орієнтовані на визначені регіони, які знаходяться на конкретній та невеликій території, спеціалізація таких моделей є вужчою, ніж у глобальних. Океанічні моделі створені для аналізу та дослідження територій, які знаходяться у контакті із океаном, чи достатньо близько для вивчення взаємодії між океаном та атмосферним повітрям.

Серед усіх представлених вище чисельних атмосферних мезомасштабних моделей, слід виділити 2 моделі, які використовуються на території України метеорологами для складання прогнозів атмосферних явищ найчастіше: WRF ARW та WRF NMM [7]. Обидві моделі є різними напрямками розвитку моделі WRF, але із залученням різних динамічних блоків, які описують динаміку атмосфери. Оскільки обидві моделі використовують різні динамічні блоки, мета використання та точність цих моделей буде різною для різних цілей дослідження. Модель WRF створювалась протягом довгого часу дослідниками та науковцями із США та з самого початку мала призначення, щоб покращити процес створення синоптичних прогнозів погоди, та полегшити метеорологам та синоптикам мати краще уявлення та розуміння процесів, які відбуваються в атмосфері за допомогою розробки мезомасштабних чисельних моделей [11].

Основна відмінність між моделями WRF ARW (Weather Research and Forecasting Advanced Researching WRF) та WRF NMM (Weather Research and Forecasting - Non-hydrostatic Mesoscale Model) це є мета створення обох моделей [10, 22, 26]. Коли WRF NMM було створено для кращого розуміння процесів утворення ураганів в атмосфері та створення прогнозів погоди для їх кращого передбачення, то WRF ARW було створення для детальнішого дослідження та вивчення усіх явищ, які можуть утворюватись в атмосфері, та створення прогнозів погоди за її допомогою. Через різну мету створення цих моделей, вони мають різну точність створення прогнозів погоди за різних умов та задач. Наприклад, WRF NMM матиме більшу точність створення прогнозів метеорологічних величин у гірській місцевості, з причини використання гідростатичного наближення у моделі WRF ARW, що буде спричиняти виникнення більшої кількості помилок при використанні невеликих кроків по горизонталі на гірській місцевості у останній. Також згідно із дослідженнями порівняння обох моделей, WRF NMM матиме меншу похибку при розробці прогнозу розподілу тиску на гірській місцевості. Наразі, на території України, в переважній більшості, на

метеостанціях та в УкрГМІ для розробки прогнозу погоди та опадів за допомогою мезомасштабних чисельних моделей застосовується WRF ARW v. 4.0, що дозволяє покращити та оптимізувати роботу метеорологів і синоптиків та покращити точність синоптичного прогнозу утворення різних атмосферних явищ, та вчасно відреагувати на надходження небезпечних атмосферних явищ, які можуть становити загрозу для населення та економіки країни [11].

WRF ARW – Weather Research and Forecasting Advanced Research - програмне забезпечення, яке було створене із ціллю покращення чисельного моделювання атмосфери та погодних умов. Версія v.4.0. являється останньою версією цього програмного забезпечення. Дана модель використовується метеорологами для створення прогнозів погоди та детальніших і складніших досліджень в галузі метеорології. WRF ARW дозволяє моделювати рух повітря, зміни температури, опади, добовий, сезонний та річний хід цих та інших метеорологічних величин і атмосферних параметрів на різних масштабах від локальних територій до глобального охоплення. В основному, системне забезпечення чисельної мезомасштабної моделі WRF ARW базується на рівняннях газодинаміки та інших фізичних законах, що описують фізику та динаміку атмосфери. Версія v.4.0. включає в себе деякі покращення та оновлення в порівнянні з попередніми версіями, що робить цю модель дуже потужним інструментом для розробки кращих та точніших прогнозів погоди, та проведення детальніших подальших досліджень у сфері метеорології, які, до цього моменту, зробити власноруч, задіюючи лише доступні інструменти, метеорологу було майже неможливо. Або якщо і можливо, то доводилось витратити на це дуже багато часу.

Оскільки, поняття про процеси в атмосфері викликані фізикою самої атмосфери, знайомі вже давно, формули, які лежать в основі створення прогнозів виникнення цих явищ, та формули, по яким здійснюється обчислення даних, для побудови більш точних синоптичних карт та визначення появи небезпечних атмосферних явищ, лежать і в основі

програмного забезпечення мезомасштабної чисельної моделі WRF ARW. А за допомогою використання потужних комп'ютерів, моделювання допомагає урахувати вплив усіх явищ, що впливають на погоду, та параметризувати підсистеми.

Принцип запуску моделі WRF ARW:

1. Підготовка вхідних даних за певних умов. Аби розпочати моделювання за допомогою WRF ARW необхідно мати вхідні дані, як температура повітря, вологість повітря, атмосферний тиск, швидкість та напрям вітру, кількість опадів і т.д., які можливо буде потім використати, як задання початкових умов. Такі дані можливо отримати із обсерваторій, метеостанцій, автоматизованих метеорологічних приладів на базі різних установ, чи інших доступних джерел.

2. Підготовка географічних даних. Для запуску роботи WRF ARW необхідна наявність географічних даних, таких як висота над рівнем моря, висота рельєфу, властивості рельєфу підстильної поверхні досліджуваної території та водних тіл. Географічні дані теж можуть впливати на розвиток та динаміку процесів в атмосфері та в граничному шарі.

3. Конфігурація моделі. Для правильного запуску моделювання за допомогою WRF ARW, необхідне правильне налаштування таких параметрів, як горизонтальна та вертикальна роздільна здатність, тривалість самого моделювання, фізичні схеми та формули, які описуватимуть турбулентність, мікрофізику хмар, конвекцію, надходження та відбивання сонячної радіації, тощо. Вибір цих параметрів залежить від цілі дослідження за допомогою моделі, і може впливати на точність отриманого прогнозу.

4. Запускання моделі WRF ARW з підготовленими даними та правильною конфігурацією. Модель буде обчислювати розвиток атмосфери від вхідних умов та за початкових даних упродовж заданого раніше часу.

5. Аналізування отриманих результатів. Після завершення процесу моделювання, ми отримаємо дані, які включатимуть в себе прогноз погоди, та інші параметри, які були описані раніше у конфігурації запуску WRF

ARW, і ці результати необхідно детально проаналізувати, оскільки згодом, ці дані можуть бути згодом використані для подальшого дослідження атмосферних процесів, подій погоди, створення та зміни клімату, тощо.

б. Архівування та публікація. Лише в самому кінці аналізування отриманих даних внаслідок моделювання за допомогою WRF ARW, можлива подальша публікація у наукових журналах узагальнених досліджень. Готові висновки можливо використовувати і для прийняття рішень для передбачення небезпечних погодних явищ чи планування дій, для реагування на погодні явища, які відбуваються в дійсності.

Основні переваги моделювання прогнозів погоди за допомогою мезомасштабної чисельної моделі WRF ARW - дана модель дозволяє звичайним користувачам налаштувати параметри конфігурації та фізичні схеми так, як це необхідно для проведення досліджень за різних умов. Тобто, інтерфейс програмного забезпечення є дуже гнучкий та дозволяє робити дуже поглиблені дослідження в галузі метеорології та прогнозування для різних регіонів та за різних умов. Також до переваг використання моделі WRF ARW слід віднести її високу роздільну здатність отриманих результатів. Ця модель може надавати високу роздільну здатність, що в свою чергу дозволяє дослідникам в галузі метеорології, ще детальніше вивчати погодні атмосферні явища в конкретних регіонах. Щодо обмежень та недоліків використання мезомасштабної чисельної моделі WRF ARW, слід зазначити, що у даній моделі є складні вимоги до надання вхідних даних для подальшого запуску. Особливо, це стосується великих регіональних областей дослідження, де необхідні будуть значні та сильні обчислювальні ресурси, аби змогли забезпечити моделювання за допомогою WRF ARW без будь-яких складнощів. Також, використання цієї моделі, вимагає детального навчання та глибокого розуміння процесів фізики атмосфери та поглибленого вивчення чисельного моделювання.

Оскільки ідея чисельного методу прогнозування погоди полягає у математичній інтерпретації основ, які лежать у виникненні та розвитку

атмосферних процесів [5, 19, 24, 25]. Задля цього необхідно з самого початку підібрати та розробити систему рівнянь, які описують уявні закономірності, які ми можемо лише побачити та відчутти, але, насправді є надзвичайно складними закономірностями для пояснення, таким чином, щоб вони були в теорії найбільш наближеними до дійсності, з найменшою похибкою, та щоб описати ці закономірності в найширшому обсязі. Наступним кроком буде замінити дану математичну модель циркуляції атмосфери, яка наразі виглядає, як система диференціальних рівнянь, інтегралів, логарифмічних, показникових і трансцендентних функцій, формулами з якими можливо надалі працювати, і що зводяться до обчислення чотирма основними діями арифметики [10].

В основі, точність чисельних прогнозів, залежить найбільше лише від трьох чинників:

1. Наскільки повною є фізична схема прогнозу. Сюди входять наскільки точними є урахування різних факторів, які впливають на погоду.
2. Чи є достатньою кількістю вхідних даних для запуску чисельної моделі і наскільки точними є ці вхідні дані на момент початку прогнозу погоди.
3. Обраний метод розв'язання рівнянь.

За даними ВМО, створені прогнози погоди за цими даними мають підтверджуваність на місяць і сезон – 60-65%. Але чим менший період чисельного прогнозування, тим більшою стає його імовірність підтвердження. На середні терміни (до 10 діб), підтверджують на декаду 75-80% створених прогнозів, а створені прогнози на добу, мають підтверджуваність - 95%. Прогнози, створені для авіації, які мають термін декілька годин, мають точність підтвердження, яка взагалі наближається до 100%. Більшість прогнозів погоди, які не справджуються чи є з дуже низькою точністю підтвердження, в більшості випадків пов'язані із появою дуже швидких, несподіваних збурень в атмосфері. Наразі, можливість передбачення появи цих несподіваних збурень з високою можливістю

підтвердження , особливо в проєкції на довгострокові прогнози погоди – це дуже непроста задача, яка знаходиться в постійному допрацьовуванні метеорологами з усього світу, і завдяки розвитку мезомасштабних чисельних моделей , ця задача стає ближчою до вирішення з кожним день.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дані наземних спостережень

У роботі використано дані оперативних спостережень державної гідрометеорологічної мережі, а саме: авіаційної метеорологічної станції (цивільної) “Рівне”. Вони охоплюють період з 1 січня 2023 р. по 4 січня 2024 р. Кожна доба збережена у вигляді текстових файлів AAXX.tt, де tt – ідентифікатор строку проведення спостережень на метеостанціях за Всесвітнім координованим часом (UTC).

2.2 Дані WRF ARW

Модель WRF в УкрГМІ використовується з лютого 2008 р. для вирішення широкого кола задач [6, 7].

На даний час прогнози за моделлю WRF ARW v.4.0 обчислюються двічі на добу (за 00 та 12 годин UTC) із використанням даних глобальної моделі прогнозу погоди GFS. Завчасність таких прогнозів становить 102 год. WRF ARW v.4.0 дає можливість розраховувати значення метеорологічних величин у вузлах сітки моделі у межах області моделювання, яка відображена на рис. 2.1. Далі на етапі післяобробки даних здійснюються додаткові обчислення різних метеорологічних величин та індексів. Після чого відбуваються візуалізація прогностичних даних та передавання інформації зацікавленим організаціям.

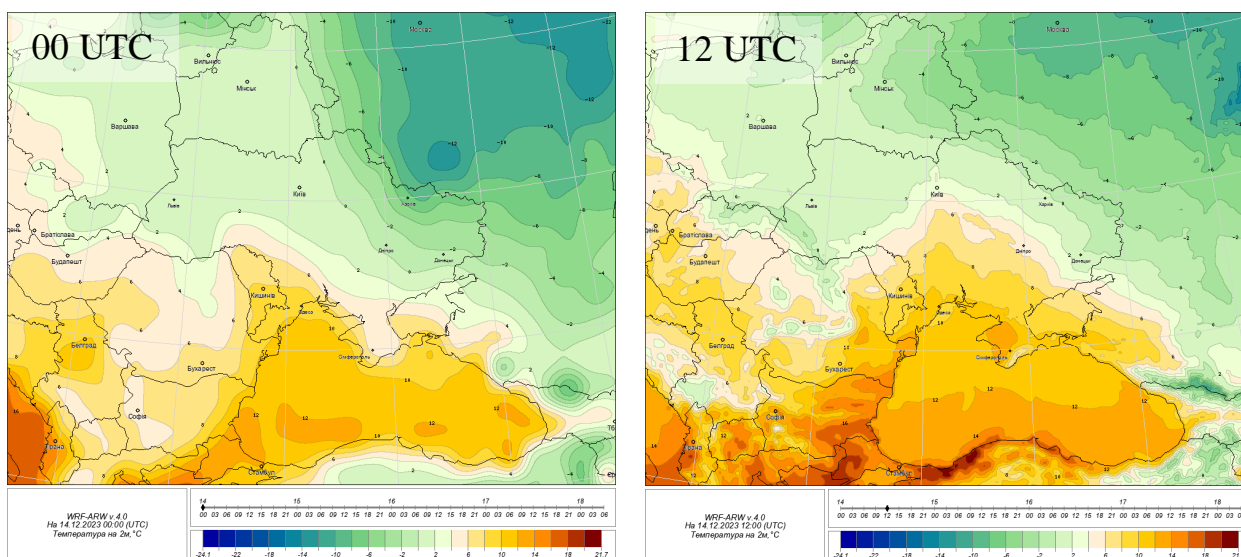


Рис. 2.1 Об'єктивний аналіз і прогноз приземної температури повітря за моделлю WRF ARW v. 4.0 на 00 та 12 UTC 14 грудня 2023 р. (від 00 UTC 14 грудня 2023 р.)

WRF ARW v. 4.0, що використовується в УкрГМІ, прогнозує 49 різних метеорологічних величин та параметрів. Дані у точках (метостанціях та населених пунктах) зберігаються у файлах «name.csv», де name – прогностична метеорологічна величина.

2.3 Обробка даних та їх аналіз

Обробка даних телеграм строкових спостережень здійснювалася за допомогою Автоматичного робочого місця Синоптика (АРМ Синоптика). Для всіх 8 строків спостережень (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 та 21 год. UTC) у межах кожної доби для окремо взятого місяця року за допомогою MS Excel створювалися файли в форматі input.*csv, де input – назва станції.

Для кожного місяця упродовж обраного періоду створювалося чотири таких файли, кожен з яких відповідав різній завчасності прогнозу приземної температури повітря: I, II, III та IV доба. Потім для проведення обчислень та побудови графічних матеріалів, використовувався програмний комплекс,

котрий був створений в УкрГМІ за допомогою мов програмування R-Software та Fortran.

Верифікація прогнозів приземної температури повітря проводилася для періоду з 1 січня 2023 р. по 4 січня 2023 р. із використанням пар значень «прогноз – спостереження», які були отримані описаним вище шляхом.

Оцінка точності прогнозів температури повітря виконувалася шляхом обчислення та подальшого аналізу описаних нижче критеріїв точності.

Для оцінки точності прогнозів, зазвичай використовуються різні статистичні показники, включаючи ME, MAE, RMSE, BIAS, а також медіана. Поняття про статистичні показники, які застосовуються у прогнозуванні погоди за допомогою програмного забезпечення WRF ARW:

Mean Error (ME) – це статистичний показник, який використовується для вимірювання середньої різниці між прогнозованою та спостережуваною величиною. Він показує відхилення прогнозів від реальних даних у середньому. ME допомагає визначити середню похибку прогнозів моделі WRF ARW в порівнянні з реальними спостереженнями та обчислюється як сума між прогнозованою (F) та спостережуваною (O) величиною із урахуванням кількості спостережень (n), тобто :

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - F_i)$$

Додатне значення ME вказує на те, що прогнози зазвичай обчислюють більше значення, ніж реальне спостереження. Від'ємне значення ME вказує на те, що прогнозуються зазвичай менше значення, ніж саме спостереження. Чим більше значення ME прямує до нуля, тим кращий прогноз. Але, на жаль, через те, що ME може бути як додатнім, так і від'ємним, тільки завдяки ньому, неможливо охарактеризувати величину похибки при створенні прогнозів погоди за допомогою WRF ARW, оскільки ME не враховує абсолютну величину похибки та може компенсувати великі відхилення.

Mean Absolute Error (MAE) – це статистичний показник, який використовується для вимірювання середньої абсолютної різниці між

прогнозованою та спостережуваною величиною. Він визначає середнє арифметичне значення абсолютних відхилень прогнозів від реальних даних. Цей показник також вимірює середню похибку прогнозу, але вже без знаку на відміну від ME. Це дозволяє уникнути компенсації плюсових та мінусових похибок. MAE є важливим показником якості прогнозів, оскільки він дозволяє кількісно оцінити точність прогнозів моделі WRF ARW та обчислюється як середнє арифметичне значення абсолютних відхилень між прогнозованою (F) та спостережуваною (O) величиною, поділене на кількість спостережень (n), де (Σ) відповідає сумі, тобто:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n |e_i|}{n}.$$

MAE вимірює середню величину похибки прогнозу. Значення показує, наскільки прогнози в середньому відрізняються від реальних даних. Чим менше є значення MAE, тим кращий та точніший є прогноз. Після того як прогнози моделі порівнюються з реальними спостереженнями, MAE допомагає визначити середню абсолютну похибку прогнозів. Це допомагає оцінити, наскільки добре модель прогнозує погоду.

Root Mean Square Error (RMSE) є одним з основних показників точності прогнозів та моделей у статистиці та прогнозуванні. Він вимірює середньоквадратичну відстань між прогнозованими значеннями та спостережуваними даними. Обчислюючи та враховуючи значення RMSE, дослідники та практики можуть оцінити, наскільки точні є прогнози та моделі, та виявити потенційні шляхи для їх покращення. Показник RMSE обчислюється за допомогою формули:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - F_i)^2}$$

де F – прогнозоване значення, O – спостережуване значення, n – кількість спостережень, Σ – сума квадратів різниць між прогнозом та спостереженнями.

RMSE вимірюється в одиницях величини прогнозованих даних. Чим менше значення RMSE, тим краще прогноз. Вона більш чутлива до великих похибок, оскільки квадратична функція надає більший вагомість відхиленням. Якщо брати до уваги застосування RMSE програмним забезпеченням WRF ARW, його використовують для порівняння прогнозів з реальними спостереженнями та оцінки точності самої моделі. Хоча, не зважаючи на те, що MAE не має напрямку помилки, і таким чином не компенсує додатні чи від'ємні похибки, він може недооцінювати важливість великих похибок через використання абсолютної величини.

Мультиплікативне зміщення (BIAS) є статистичним показником, який вимірює середню систематичну відхиленість прогнозів від реальних спостережень та виражає величину і напрямок систематичної похибки прогнозу. BIAS є корисним показником для виявлення систематичних відхилень у прогнозах погоди. Використання цього показника дозволяє оцінити, наскільки точними є прогнози моделі та виявити потенційні напрямки для їх покращення. Також, він показує, наскільки в середньому прогнози схильні переоцінювати або недооцінювати реальні значення. BIAS обчислюється як середнє арифметичне відхилень між прогнозованими (F) та спостережуваними (O) значеннями:

$$BIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - F_i)$$

Обчислене додатне значення BIAS, вказує на те, що прогнози, в середньому, переоцінюють реальні значення. Обчислене від'ємне значення BIAS означає, що прогнози, в середньому, недооцінюють реальні значення. Чим ближче значення BIAS до нуля, тим менше систематичних відхилень у прогнозах і тим більше прогнози є точними та близькими до реальних спостережень.

Після порівняння прогнозів моделі з фактичними спостереженнями, BIAS допомагає кількісно оцінити середню систематичну відхиленість прогнозів. Хоча, BIAS дозволяє оцінити, чи існують систематичні відхилення в прогнозах, але, на жаль, він не враховує величину окремих похибок, лише їх напрямок.

Медіана – це важливий статистичний показник, який є значенням, що розташоване посередині впорядкованого набору даних так, що половина значень знаходяться нижче, а половина - вище цього значення. Іншими словами, медіана розділяє впорядкований набір даних на дві рівні частини. Це може бути корисним для аналізу та прогнозування погоди за допомогою моделі WRF ARW. Використання медіани дозволяє отримати більш стабільні та надійні результати у порівнянні з іншими мірками центральної тенденції, такими як середнє арифметичне. Для обчислення розташування медіани потрібно спочатку впорядкувати набір даних за зростанням або спаданням, а потім розрахувати та обрати середнє значення. Якщо кількість значень парна, медіана визначається як середнє значення між двома центральними значеннями. Якщо кількість значень непарна, медіана - це значення, що знаходиться в самому центрі. Медіана являється статистичним показником центральної тенденції і використовується для опису центрального значення набору даних. Вона є менш схильною до впливу викидів або екстремальних значень у порівнянні з середнім арифметичним.

Медіана може бути корисною для оцінки стабільності прогнозів, оскільки вона менше схильна до впливу викидів або екстремальних значень, що може бути корисно при аналізі довгострокових тенденцій та погодних умов. Не дивлячись на те, що Медіана є хорошим показником для виявлення викидів та уникнення впливу великих похибок, вона може бути менш чутливою до змін у центральній тенденції, якщо початкові дані мають велику дисперсію.

Також у даній роботі використовувалися графічні засоби аналізу даних, а саме: діаграми розсіювання, диференційні розподіли (частоти) помилок прогнозів та диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ПРОГНОЗІВ ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ У М. РІВНЕ

3.1 Точність прогнозу приземної температури повітря в зимово-осінній період

Для того, щоб описати, наскільки точною є модель WRF ARW v.4.0 у прогнозуванні температури повітря для міста Рівне у зимовий період для грудня місяця, необхідно використати діаграми розсіювання, які наведені у Додатку А (рис. А.12). Аналізуючи дані діаграми, можна здійснити порівняльну характеристику із описаними вище зимовими місяцями. Переглядаючи зображення діаграми розсіювання для першої доби прогнозу (24 год.), можна одразу побачити, наскільки точним є прогноз моделі WRF ARW. Як прогнозовані дані, так і фактичні спостереження знаходяться на лінії тренду діаграми розподілу і мають мінімальне розсіювання, яке є майже відсутнім. Попри те, що ми можемо спостерігати прогноз для першої доби із доволі великим діапазоном прогнозованих величин, майже всі вони знаходяться на лінії тренду. Втім, варто зазначити, що попри дуже низьку похибку прогнозу, можна спостерігати, як модель ARW має особливість до завищення прогнозованих показників температури повітря. Ця особливість спостерігалась як на діаграмах для січня, так і на діаграмах лютого, і так само можна спостерігати і на діаграмах грудня, хоч дійсно зовсім в незначних одиницях. Якщо ми подивимось на діаграму розсіювання для другої доби (48 год.) прогнозу можна помітити скорочення діапазону проаналізованих величин та, в цілому, збільшення розсіювання даних на діаграмі. Попри те, що більшість даних досі знаходяться на лінії тренду, їх незначне розсіювання в порівнянні із діаграмою для першої доби прогнозу в площині графіку є доволі помітним. Це свідчить про незначне зменшення точності прогнозу

моделі WRF ARW. Таке розсіювання даних спостерігається і на діаграмі розсіювання для третьої доби прогнозу (72 год.) уже в значно більшій мірі, тобто це розсіювання не можна не помітити, якщо порівнювати із тією самою діаграмою, але для першої доби прогнозу. На третій добі, діапазон проаналізованих величин став іще меншим, а дані на діаграмі виглядають іще більш розсіяними у порівнянні із минулими діаграмами. Попри те, що розсіювання відбувається в обох напрямках, сильніше воно є, все ж, вниз від лінії тренду діаграми. Це свідчить про те, що модель WRF ARW завищувала деякі прогнозовані показники температури повітря, у порівнянні із тими, які спостерігались при дійсних спостереженнях. Це в свою чергу може означати також те, що в грудні місяці на території міста Рівне відбулось незвичайне похолодання та зменшення температури повітря, яке програмне забезпечення моделі WRF ARW v.4.0 не змогло передбачити із 100% точністю. Якщо поглянути на діаграму розсіювання для четвертої доби прогнозу (96 год.) і порівняти її із діаграмою для першої доби прогнозу (24 год.), то можна чітко побачити, наскільки сильнішим стало розсіювання даних зі збільшенням доби прогнозу. Попри те, що розсіювання збільшилось в обох напрямках, як і вниз від лінії тренду діаграми, так і вгору, нижнє розсіювання є набагато більшим. Це дозволяє зробити висновок, з приводу величини і знаку похибки. Оскільки розсіювання значно збільшилось в обох напрямках, це означає що і величина похибки та її частота на кількість прогнозів теж збільшилась як в додатному значенні, так у від'ємному значенні. Але через те, що величина розсіювання є дещо більшою вниз від лінії тренду діаграми, величина похибок та частота на кількість прогнозів буде більшою у додатному значенні, оскільки по графіку можна визначити, що модель більше давала завищені прогнози, аніж становили ці значення температури при фактичних спостереженнях. Хоч втім це значення похибок не є великим, і модель WRF ARW v.4.0 лишається дуже точною у прогнозах від першої до четвертої доби прогнозу, у порівнянні із усіма чотирма діаграмами розсіювання, можна підсумувати, і побачити, наскільки падає точність

прогнозів моделі для грудня місяця зі збільшенням доби прогнозу. По розсіюванні даних діаграм видно, що на четвертий день прогнозу (96 год.) в грудні місяці, точність прогнозів впала значно у порівнянні із діаграмою розсіювання для першої доби прогнозу (24 год.).

Дещо іншу закономірність можна спостерігати при аналізі коробчастих діаграм, див. Додаток А (рис. А.24). Для грудня місяця, точність прогнозів для першої доби (24 год.) із першої коробчастої діаграми залишається дуже високою. Це можна зрозуміти по майже однаковому загальному діапазону спрогнозованих та фактичних величин температури повітря в місті Рівне. Різниця в діапазонах сягає 0-1°C, що свідчить про високу точність прогнозу моделі WRF ARW для першої доби в цьому місяці. Попри правильно визначені загальні діапазони спрогнозованих даних, межі максимальних концентрацій дещо зміщені та є вузькими на діаграмі моделі WRF ARW. Прогнозовані дані є дещо зміщені в сторону додатніх температур, та медіана теж є зміщеною відносно медіани фактичних спостережень. Згідно з коробчастої діаграми, фактичні спостереження для першої доби прогнозу у грудні місяці були більш розсіяними та становили більш від'ємних значень, аніж це змогла спрогнозувати модель WRF ARW v.4.0. Але, аналізуючи цю діаграму, можна побачити, що попри ці похибки, їх значення є дійсно мінімальне. Коробчасті діаграми для першої (24 год.) та другої (48 год.) доби прогнозу в грудні є фактично ідентичними. Єдиною різницею між цими діаграмами є дещо більша похибка між прогнозованими даними та фактичними спостереженнями для другої доби прогнозу у порівнянні із першою. Попри більшу похибку, вона все ще лишається мінімальною та ледь помітною. Межі «коробочки» максимальних концентрацій спрогнозованих даних на діаграмі для другої доби прогнозу є зміщеними вправо у порівнянні із межами «коробочки» максимальної концентрації фактичних даних, так само, як і на діаграмі для першої доби прогнозу. Єдина різниця, яка помітна між цими діаграмами - це невелика похибка у прогнозуванні повного діапазону величин. На діаграмі для другої доби прогнозу, діапазон є

коротшим за діапазон фактичних величин. Дані діаграми показують, що навіть на другу добу (48 год.), прогнози, створені за допомогою WRF ARW v.4.0 є високоточними, оскільки похибка між прогнозами та спостереженнями майже відсутня, як на першу добу прогнозу, так і на другу добу також. Втім, якщо ми проаналізуємо коробчасті діаграми для третьої доби прогнозу (72 год.) та четвертої доби прогнозу (96 год.), можемо побачити, як змінилась закономірність співвідношення між прогнозованими та фактичними даними. Повний діапазон даних прогнозів моделі WRF ARW став набагато коротшим, ніж при фактичних спостереженнях, що, звичайно, збільшило похибку прогнозів моделі для третьої та четвертої доби. Попри вірно визначені можливі межі максимальної концентрації даних, модель ARW створила прогнози температури для грудня із дещо завищеними показниками. Це ми можемо побачити на коробчастих діаграмах, як «коробочки» прогнозів моделі WRF ARW v.4.0 є дещо зміщеними вправо від коробочок фактичних спостережень. Через це, так само є зміщеними і медіани діаграм. Коробчаста діаграма для четвертої доби прогнозу (96 год.) має значно менші межі максимальних концентрацій даних у порівнянні із діаграмою для третьої доби прогнозу. Попри це, положення цієї «коробочки» знаходиться, відносно, в межах мінімальної похибки прогнозу. Аналізуючи вище сказане, можна охарактеризувати прогнози моделі WRF ARW для грудня місяця в місті Рівне, як високоточні у більшості випадків. Тобто, прогнози для першої та другої доби залишаються максимально точними з усіх, які були відтворені для аналізу на діаграмах. Попри те, що максимальна концентрація даних для третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу залишається в межах мінімальної похибки, вузький діапазон прогнозів моделі, порівнюючи із фактичними даними, може означати збільшення похибки для деяких прогнозів. Якщо більшість прогнозів лишається високоточними, то частина із цих прогнозів всеодно випаде за межі загального діапазону прогнозованих даних. Це лишається недоліком моделі WRF ARW v.4.0, стосовно прогнозів на довгий час (від третьої доби

прогнозу), оскільки програмному забезпеченню важко створювати прогнози враховуючи всі можливі зміни температури повітря без похибок на більше ніж 48 годин вперед.

Для того, щоб візуалізувати якого типу похибок було більше при створенні прогнозів за допомогою WRF ARW в грудні місяці, можна переглянути диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень із Додатку А (рис. А.36). Із гістограми для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо одразу чітко побачити, наскільки схожими є диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень. На гістограмі помітно один пік від'ємних фактичних значень, що можливо пояснити неочікуваним зниженням температури повітря, яке модель ARW не змогла передбачити. Саме через це зниження температури, кількість прогнозів метеомоделі є більшою в вищих значеннях температури. Схожу закономірність можна спостерігати на всіх чотирьох гістограмах диференційних розподілів. Втім, зі збільшенням доби прогнозу, збільшується і величина кількості прогнозів із похибками. Не зважаючи на те, що похибки лишаються мінімальними, модель WRF ARW v.4.0 не змогла в грудні передбачити сильне зниження температури на тривалий час на всі 100%, що ми можемо побачити на всіх чотирьох гістограмах у вигляді піків від'ємних температур фактичних спостережень. Через цю похибку в прогнозах, метеомодель хибно прогнозувала більшу кількість прогнозів температури із вищим значенням температури, ніж це спостерігалось в наявності.

Оцінити кількість та розподіл помилок прогнозів для грудня місяця в місті Рівне нам допоможуть гістограми диференційних розподілів помилок прогнозів із Додатку А (рис. А.24). Поглянувши на гістограму для першої доби прогнозу можна спостерігати підтвердження всього, що було сказано вище, оскільки на цій гістограмі диференційного розподілу чітко вирізняється різкий та високий пік кількості прогнозів із діапазоном помилок 0°C. Також можна помітити доволі вузький діапазон розподілу температурних помилок на кількість прогнозів. Це свідчить про те, що

прогноз температури для грудня місяця за допомогою моделі WRF ARW v.4.0 для першої доби прогнозу (24 год.) має високу точність та майже 100% справджуваність. Це можна зрозуміти, якщо проаналізувати, наскільки різко мінімуми кількості прогнозів на крайніх точках діапазону температурних похибок переростають в чітко виражений високий пік із похибкою 0°C . Ситуація різко змінюється із кількістю помилок прогнозу на другу добу (48 год.). На другій гістограмі диференційного розподілу помилок прогнозів попри те, що діапазон температурних величин помилок лишається приблизно таким самим, як і на першій діаграмі для першої доби прогнозу, втім пік на діаграмі є більш розсіяним. Можна спостерігати зниження високи піку та розсіювання даних по діапазону гістограми. Це свідчить про те, що хоч основна частина кількості прогнозів для другої доби (48 год.) все ще лишається з мінімальною помилкою $0-2^{\circ}\text{C}$, у масштабі всіх прогнозів, які здійснила модель WRF ARW для другої доби, зростає можливість та кількість помилок доволі значних, і саме через це, падає точність прогнозів моделі. Попри це, на другій гістограмі диференційних розподілів помилок, все ще помітно чіткий пік кількості прогнозів у діапазоні $0-1^{\circ}\text{C}$, що є фактором надійної високої точності прогнозів моделі WRF ARW v.4.0.

На третій гістограмі диференційних розподілів помилок прогнозів можна помітити, що у порівнянні із прогнозами для першої доби та другої, на гістограмі для третьої доби прогнозу (72 год.) присутні 2 піки максимальної кількості прогнозу у діапазоні $0-4^{\circ}\text{C}$. Сам повний температурний діапазон помилок вже спостерігається ширшим. Все це можна пояснити схильністю моделі WRF ARW v.4.0 до значного розсіювання даних прогнозів більше ніж на другу добу прогнозу (>48 год.), що збільшує загальну можливість наявності похибки у більшості зроблених прогнозів, та в цілому більшу кількість готових прогнозів із помилками. Схожу ситуацію можна спостерігати також на останній гістограмі диференційного розподілу помилок. Подібно із прогнозами для третьої доби, прогнози для четвертої доби (96 год.) теж мають сильне розсіювання даних прогнозованої

температури. Втім, як це можна побачити, діапазон температурних помилок для четверної доби прогнозу є найширшим з усіх 4-ох гістограм. Гістограма має два піки кількості прогнозів у діапазоні 0-4°C, та ще один маленький пік у діапазоні -10°C. Через схильність моделі WRF ARW v.4.0 сильно розсіювати дані із максимальним розсіюванням на четверту добу прогнозу (96 год.), це збільшує можливість наявності таких суттєвих нехарактерних похибок у прогнозах, як це можна спостерігати на гістограмі для грудня місяця.

Прогнози, створені моделлю WRF ARW v.4.0 залишаються високоточними як для першої доби, так і для прогнозів на подальші дні, оскільки на всіх гістограмах диференційного розподілу помилок, помітно чіткий пік максимальної кількості прогнозів у діапазоні близько 0°C, так само це теж можна побачити із графіків розсіювання, де більшість точок діаграм і прогнозів і фактичних спостережень лишаються в межах ліній тренду діаграм. Враховуючи цей факт, не можна не взяти до уваги також схильність моделі до завищення температурних даних прогнозів і, разом із цим, розсіювання даних по всьому діапазону прогнозів та збільшення похибок цих прогнозів. Чітко це можна було спостерігати на коробчастих діаграмах та гістограмах диференційних розподілів помилок для третьої-четвертої доби прогнозу (>48 - 96 год.). У зимовий період можна було спостерігати труднощі програмного забезпечення моделі WRF ARW v.4.0 у питанні прогнозуванні коректних діапазонів температур для міста Рівне у цей час. Оскільки прогнози моделі у часто мали показники більше на 1-2°C, ніж це спостерігалось на фактичних вимірюваннях температури у зимовий період. Прогнози для третьої та четвертої доби прогнозу збільшували можливість наявних високих похибок, адже для прогнозів температури на такий довгий період часу, збільшується ризик спостерігання неочікуваних різких змін температури, які модель WRF ARW не зможе урахувати. Підсумовуючи все сказане вище, можна зробити висновок, що прогнози моделі WRF ARW v.4.0 на першу добу (24 год.) є найточнішими і

справжувались майже із 100% імовірністю. Оскільки похибка та розсіювання даних прогнозів температури згідно із діаграм розсіювання, збільшувались зі збільшенням доби прогнозу, досягаючи максимуму на четверту добу прогнозу (96 год.), можна сказати, що найменш точними є прогнози моделі WRF ARW v.4.0 для четвертої доби прогнозу. Їх діаграми виглядали найбільш розсіяними без конкретної вузької області в діапазоні лінії тренду, а на диференційних розподілах помилок прогнозів, діапазони температурних помилок були найширшими та гістограми мали найплавніший ріст та спадання.

Розглянемо порівняльну характеристику результатів прогнозу температури повітря для лютого 2023 року, які були зроблені за допомогою моделі WRF ARW v.4.0 для міста Рівне, для цього нам необхідно проаналізувати дані із діаграм розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу із Додатку А (рис. А.2). Порівнюючи дані із діаграм розсіювання, які були описані вище для січня місяця, та для лютого місяця, можна одразу помітити схожу закономірність із прогнозами моделі та явними спостереженнями показників температури повітря. А саме, схильність моделі ARW v.4.0 до завищення прогнозованих показників температури повітря і прогнозування температури повітря, що буде вищою на 2-3°C, ніж температура повітря, при фактичних спостереженнях. Якщо подивитись на діаграми розсіювання для січня (рис. А.1) та діаграми розсіювання для лютого (рис. А.2), можна також помітити, що, не дивлячись на те, що для першої доби (24 год.) прогноз матиме найбільшу точність, вона для лютого є нижчою, ніж прогнозувалась для січня. Це можна спостерігати по тому, як розсіюються прогнозовані та фактичні дані навколо тренду діаграми. Коли для січня місяця, прогноз температури повітря для першої доби виглядав в цілому так, що всі дані спостерігались на лінії тренду, то для лютого місяця, перша доба прогнозу виглядає набагато розсіянішою із прогнозованими та явними даними температури повітря, які виходять за межі лінії тренду в обидві сторони. Це

може свідчити про те, що в лютому місяці на території міста Рівне спостерігались такі погодні умови, які перешкоджали моделі WRF ARW робити прогнози з більшою точністю.

Згідно із діаграм розсіювання, можна побачити, як зі збільшенням доби прогнозу, збільшується і розсіювання даних навколо лінії тренду діаграми. Наприклад, на діаграмі розсіювання для другої доби прогнозу (48 год.) у порівнянні із першою добою прогнозу збільшується розсіювання вгору, що може означати, що для другої доби прогнозу, модель ARW хоч і прогнозувала з деякими похибками, вони були як позитивні, так і негативні. Тобто, деколи модель прогнозувала значення температури, які були вищі за дані фактичних спостережень, а деколи прогнозована температура становила менші значення, ніж ті, які спостерігались згодом. Коли ми аналізуватимемо діаграми для третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, то ми можемо побачити трохи відмінну картину від графіків розсіювання січня місяця. Навідміну від останніх, модель почала створювати прогнози зі значно нижчими показниками температури повітря, ніж спостережені. Іноді ця похибка могла становити до -5°C . Розсіювання вниз від лінії тренду в діаграмі розсіювання є куди менше, ніж розсіювання вгору. Це свідчить про те, що попри те, що є досі присутня позитивна похибка, негативна похибка прогнозу зустрічається набагато частіше і вона сягає більших значень. Хоч діаграми для третьої доби (72 год.) та для четвертої доби (96 год.) прогнозу є доволі схожими, все ж на останній діаграмі, похибка у прогнозованих величинах є значною, і розсіювання вгору від лінії тренду діаграми є дуже помітним. Іноді ця похибка сягає до -10°C . Порівнюючи діаграми для першої доби (24 год.) та для четвертої доби прогнозу, можна зробити висновок, що розсіювання досліджуваних даних для дослідження прогнозів моделі WRF ARW v.4.0 стрімко збільшується зі зростанням доби прогнозу. В січні, це розсіювання даних збільшувалось, в основному, вверх від лінії тренду діаграми, натомість в лютому можна побачити розсіювання вниз від лінії тренду діаграми і воно зберігається приблизно однаковим, як для першої

добы прогнозу, так і для другої, третьої та четвертої доби прогнозу. Це свідчить про те, що більшість похибок прогнозів моделі для лютого місяця були від'ємними, на відміну від січня, де за діаграмами розсіювання більшість помилок прогнозу були додатними. Описане вище може вказувати на те, що цьому місяці на території міста Рівне перебували тепліші погодні умови, як потепління, що є відмінним від попереднього місяця, і це стало можливою причиною змін у величині і знаку похибки моделі WRF ARW v.4.0.

Під час порівняння даних за коробчастими діаграмами для лютого місяця (рис. А.14) із даними коробчастих діаграм для січня місяця, одразу помітно різницю у розташуванні медіани діапазонів та меж максимальної концентрації досліджуваних параметрів. Коли для січня, розташування медіан графіків не було однаковим як для прогнозованих величин, так і для спостережених величин, то їх розташування на діаграмах для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) діб прогнозів має найменшу похибку і їх розташування є майже однаковим, як для прогнозованих величин, так і для фактичних спостережених. Що стосується діапазонів, то якоїсь однакової закономірності для всіх 4-ьох діаграм для лютого 2023 року не спостерігається. Коробчасту діаграму для першої доби спостережень (24 год.) можна описати за однаковими діапазонами значень прогнозу та спостережень, майже однаковими медіанами, та більшим діапазоном максимальної концентрації спостережених величин температури повітря, ніж діапазон спрогнозованих величин температури повітря за моделлю WRF ARW. Це означає, що попри те, що модель є дуже точною у прогнозуванні цілого діапазону можливих величин температури повітря для лютого, спостереження показали більшу розсіяність концентрації температури повітря, що ми можемо побачити на діаграмі у вигляді ширших меж «коробочки» максимальних концентрацій показників спостережень, ніж прогнозу. Діаграми для другої (48 год.) та третьої (72 год.) доби прогнозу

мають схожі особливості. Діапазони прогнозованих величин є вузькими, натомість спостережені величини мають набагато більший діапазон діаграм.

Попри те, що медіана даних, як прогнозу моделі, так і дійсних спостережень є однаковою на обох діаграмах, межі коробочок максимальної концентрації спрогнозованих даних є зміщеними вліво відносно «коробочки» спостережених даних. З цього можна зрозуміти, що, попри те, що в лютому місяці, спостерігалось іноді сильне зниження температури, яке модель WRF ARW v.4.0 не змогла передбачити, у більшості випадків, все ж фактична температура повітря мала значення вищі, ніж прогнозувала модель ARW, саме тому, межі «коробочки» з максимальною концентрацією спостережених даних є зміщеною вліво, відносно «коробочки» з максимальною концентрацією прогнозованих даних. Ситуація із діаграмою для четвертої доби прогнозу (96 год.) відрізняється від попередніх тим, що попри схоже розташування обох медіан діаграми відносно одна одної, можна спостерігати різке збільшення діапазону спрогнозованих величин, у порівнянні із діаграмами для другої (48 год.) та третьої (72 год.) доби прогнозу. Зі збільшенням діапазону величин, зросли та перебільшили спостереження також і межі «коробочки» максимальної концентрації прогнозованих величин. Всі вище описані ознаки, вказують на те, що прогноз температури повітря для лютого для четвертої доби прогнозу (96 год.) є найбільш розсіяним з усіх 4-ьох діаграм, тому має найбільше охоплення прогнозованих даних, та більше охоплення даних, які найчастіше повторюються. На жаль, це не робить модель точнішою, так як, по суті, модель правильно змогла створити прогноз зниження температури та охопила всі можливі зміни температури за спостережень, які не змогла охопити при створенні прогнозів для другої та третьої доби прогнозу. Це і робить прогноз погоди моделі WRF ARW v.4.0 менш точним, оскільки при збільшенні розсіювання даних, зменшується їх правдивість та конкретизація.

Коли ми подивимось для порівняння на диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для лютого із Додатку А (рис. А.26), ми

можемо побачити повторення ситуації із минулих діаграм вище. Наприклад, за графіком для першої доби прогнозу (24 год.) можна побачити, як модель недооцінила кількість розсіювання в спостережених даних і спрогнозувала максимальне значення прогнозів значень температури повітря в діапазоні близько 0°C . Натомість реальна ситуація спостережень показала більшу розсіяність даних в діапазоні і менше значення кількості спостережень фактичних значень температури повітря близько 0°C . Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для другої та третьої доби прогнозу є приблизно ідентичними. Обидві гістограми мають менший діапазон прогнозованих даних, що не зміг включити в себе низькі фактичні значення температури повітря. Втім, вони відрізняються тим, що на гістограмі диференційного розподілу для другої доби, фактичні спостереження температури повітря мали менші показники, ніж ті, які спрогнозувала модель WFR ARW. Більша концентрація спостережених значень була в діапазоні нижче нуля, коли метеомодель створила прогноз із більшою концентрацією значень температури повітря вище нуля. Трохи інакша ситуація спостерігається на гістограмі диференційного розподілу прогнозованих та фактичних значень для третьої доби прогнозу. При спостереженнях були зафіксовані більш розсіяні значення із менш різким максимумом значень у діапазоні менше 0°C , що означає, що тоді спостерігалось збільшення додатніх температур та значення температури повітря в цілому частіше набували додатніх значень. Натомість метеомодель створила прогнози, які мають різкий пік в діапазоні 0°C , що призвело до того, що велика кількість прогнозів мала помилку саме в цьому діапазоні. Якщо порівнювати гістограму диференційного розподілу прогнозованих та фактичних значень для четвертої доби прогнозу (96 год.), можна виділити, що метеомодель правильно змогла створити прогнози із великим діапазоном величин, оскільки він збігся із фактичним діапазоном спостережених величин. Ця особливість прогнозу на четверту добу, а саме велике розсіювання прогнозованих даних, створило похибки в діапазонах значень,

де раніше їх не було, та змістило пік прогнозів вправо від 0°C , на відміну від фактичного піку кількості спостережень, який виявився по ліву сторону від 0°C . За останньою гістограмою можна чітко побачити, що попри коректно визначений діапазон величин, через загальне розсіювання даних, зростає загальна похибка прогнозів, і зменшується кількість прогнозів, які справдились на 100%.

Удостоверитись у цьому можна, якщо проаналізувати диференційні розподіли помилок прогнозів із Додатку А для лютого (рис. А.38). На гістограмі диференційного розподілу помилок для першої доби прогнозу (24 год.) присутній діапазон різниці температур між прогнозованими та фактичними температурами, і він є найвужчим з усіх діб прогнозу. Чіткий та різкий пік максимальної кількості прогнозів температури із різницею $0-1^{\circ}\text{C}$, свідчить про те, що модель WRF ARW v.4.0 для першої доби прогнозу створює дуже точні прогнози, які у більшості випадків мають 100% відтворення у спостереженнях. Якщо минулий розподіл порівняти із гістограмою для другої доби (48 год.) прогнозу, можна побачити, що тепер присутній не один пік на графіку, а їх вже стало два, і обидва вони стали нижчі, ніж на графіку для першої доби прогнозу. Діапазон величин різниці температури прогнозованої та фактичної став ширшим, та піки найбільшої кількості прогнозів спостерігаються не такими різкими за рахунок збільшення діапазону та загального розсіювання даних, а отже і помилок прогнозів. Диференційний розподіл помилок прогнозів для другої (48 год.) та третьої (72 год.) доби прогнозу між собою схожі, але втім відрізняються. Попри те, що на обох графіках присутні два піки максимумів кількості прогнозів в діапазоні помилок $0-2^{\circ}\text{C}$, на гістограмі для третьої доби прогнозу розсіювання даних про помилки прогнозів є іще більш розсіяними у порівнянні із гістограмою для другої доби прогнозу. Це робить розподіл плавнішим і вказує на більшу кількість прогнозів моделі ARW із помилками в діапазоні до 5°C . Аналізуючи останню гістограму диференційного розподілу помилок прогнозів для четвертої доби прогнозу (96 год.), ми

можемо помітити, наскільки плавнішою стала крива розподілу у порівнянні із гістограмою для першої доби прогнозу (24 год.). Обидва піки кількості прогнозів не є такими різкими, як на попередніх гістограмах, а радше мають плавний підйом по діапазону різниці температур. Сам діапазон помилок температур на четверту добу прогнозу став іще ширшим у порівнянні із іншими гістограмами. Це вказує на велике розсіювання вхідних даних прогнозів моделі WRF ARW v.4.0 для четвертого дня прогнозу (96 год.), та збільшує загальну кількість прогнозів із помилками, і зменшує кількість прогнозів моделі із мінімальною помилкою в діапазоні 0°C.

Проаналізувавши дані всіх діаграм простежується спільний висновок, який лише підтверджується в кожній діаграмі за лютий 2023 року в місті Рівне. В цілому, в лютому спостерігались як тривалі підвищення температури повітря, так і різкі значні зниження температури повітря, які модель WRF ARW не змогла коректно спрогнозувати. Попри це, прогнози для першої (24 год.), другої (48 год.) та третьої (96 год.) мали загальне низьке розсіювання даних та максимальну кількість прогнозів із діапазоном помилки близько 0-2°C. Прогноз температури повітря для першої доби в лютому став найточнішим, він мав найменше розсіювання даних, найменший діапазон та єдиний чіткий найбільший пік кількості прогнозів із помилкою близько 0°C. Напротивагу, найменш точними можна вважати прогнози моделі WRF ARW для четвертої доби, оскільки, у порівнянні із попередніми, вони мали найбільші діапазони прогнозованих значень, найбільші розсіювання даних по всій діаграмі та найменші і найнижчі піки максимальної кількості прогнозів із помилками у діапазоні 0-2°C.

Для того, щоб описати точність прогнозів температури повітря, які були створені за допомогою моделі WRF ARW v.4.0 в осінній період, необхідно розглянути відповідні рисунки у Додатку А для періоду із вересня по листопад. Переглянувши діаграми розсіювання можна помітити деяку закономірність. Наприклад, на всіх чотирьох діаграмах для першої, другої, третьої та четвертої доби прогнозу ми бачимо розташування точок навколо

тренду діаграми вгору, у високих додатніх діапазонах температури повітря, що може вказувати на перебування теплих повітряних мас у цьому місяці над територією міста Рівне, оскільки мінімальна температура на всіх діаграмах розсіювання майже не опускалась нижче 10°C. В свою чергу це свідчить, що вересень був теплим місяцем, без різких похолодань. Аналізуючи рівень розсіювання точок, слід виділити діаграму розсіювання для першої доби прогнозу (24 год.). Хоч ця діаграма не є прикладом ідеальної кореляції, де всі точки діаграми би лежали в площині лінії тренду, у порівнянні із іншими графіками для вересня, розсіювання тут є мінімальним. Можна спостерігати наявність невеликих помилок у прогнозах моделі AWR, та мінімальну невідповідність фактичних спостережень, у вигляді невеликого розсіювання точок. Оскільки немає певного напрямку розсіювання точок на діаграмі, не можна конкретно стверджувати, чи модель завищувала прогнозовані показники, чи їх занижувала. Втім, ми можемо зробити висновок, що судячи з усіх чотирьох діаграм, певного напрямку розсіювання не можна простежити, що може означати мінливість погоди в вересні, що ускладнило моделі WRF ARW v.4.0 створити прогнози з більшою точністю. Діаграми для другої доби (48 год.) та третьої доби (72 год.) прогнозу є дещо подібними. На обох помітно збільшення рівня розсіювання точок діаграми навколо лінії тренду, що в свою чергу вказує на зменшення точності прогнозів, які створила модель ARW, у порівнянні із прогнозами для першої доби (24 год.). На діаграмі для третьої доби прогнозу (72 год.) ми можемо помітити появу невеликого напрямку, куди розсіювання точок направлене більше, а саме вгору. Напрямок не є чітким та може вказувати на те, що модель WRF ARW v.4.0 мала властивість в цьому місяці дещо занижувати дані своїх прогнозів температури повітря. Діаграма для четвертої доби прогнозу (96 год.) та діаграма для другої доби прогнозу (48 год.) виглядають теж дуже схожими, втім, якщо подивитись ближче, то можна помітити, наскільки на діаграмі для другої доби можна спостерігати великі концентрації осліджуваних даних на самій лінії тренду, що і лінія і точки діаграми

зливаються. Та на діаграмі для четвертої доби, ці самі точки знаходяться не чітко на дінії тренду, а на певній відстані навколо цієї лінії. Оскільки відстань від лінії тренду є майже непомітною, то ми можемо стверджувати, що ці помилки є майже відсутніми, але не можемо не зауважити наявність цього факту, аналізуючи діаграми розсіювання. Оскільки всі чотири діаграми є схожими, то більше про точність прогнозів та диференційні помилки ми можемо дізнатись із інших графіків.

Беручи до уваги коробчасті діаграми для вересня (рис. А.21), можна спостерігати подібні висновки, які описані вище. Оглядаючи всі чотири діаграми для першої доби (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, простежується спільна закономірність відповідності положення меж максимальної концентрації даних коробочок фактичних спостережень та прогнозованих даних, і їх медіан. В свою чергу це свідчить про те, що модель WRF ARW змогла конкретно створити прогнози температури повітря із мінімальною похибкою для більшості випадків. Правильно визначила межі максимальної концентрації даних та їх середнє значення, що лише підтверджує її високоточність. Наприклад, на коробчастій діаграмі, ми можемо спостерігати ідеально визначений діапазон прогнозованих даних моделі, який співпадає із діапазоном даних фактичних спостережень. Так само співпадає і положення меж коробочок максимальних концентрацій даних, та розташування на діаграмі обох медіан. На діаграмі для другої доби прогнозу (48 год.), можна помітити невеликий зсув діапазону прогнозованих даних вправо відносно діапазону фактичних спостережень, це показує властивість моделі ARW у вересні дещо завищувати показники прогнозованих метеорологічних величин. Оскільки на коробчастій діаграмі для третьої доби (72 год.), діапазон прогнозованих величин є іще більше зміщеним вправо відносно діапазону фактичних спостережень, ніж раніше, це лише більше підтверджує описане вище. На останній коробчастій діаграмі для четвертої доби прогнозу (96 год.), діапазон прогнозованих величин більше не є зміщеним, але, натомість, він є більшим, ніж діапазон даних

фактичних спостережень. Оскільки, межі коробочок максимальних концентрацій даних, як прогнозованих, так і фактичних, розташовані ідентично відносно одна одної, то при більшому діапазоні прогнозованих даних, можна стверджувати, що на четверту добу прогнозу, попри наявність невеликої похибки прогнозів, можна помітити збільшення розсіювання даних, які видала модель WRF ARW v.4.0 для створення прогнозу температури повітря.

Трохи детальніше можна оглянути розподіл даних прогнозів та фактичних спостережень за вересень за допомогою гістограм диференційних розподілів із Додатку А. Одразу можна помітити, що певна різка і значна відмінність між двома розподілами відсутня на всіх гістограмах від першої доби прогнозу (24 год.) по четверту добу прогнозу (96 год.). Це є ознакою високої точності прогнозів моделі в цьому місяці над даною територією. На діаграмі для першої доби прогнозу ми можемо спостерігати, як диференційний розподіл прогнозованих та фактичних значень до 20°C, подібний до ідеального, оскільки в цьому діапазоні похибка майже відсутня, та обидва розподіли накладаються один на одного з мінімальною невідповідністю. В діапазоні більше 20°C, ми можемо спостерігати, як збільшується різниця між розподілами. Ми можемо побачити, що модель створила більше прогнозів для нижчих температур, ніж фіксувались при фактичних спостереженнях. В свою чергу це може означати, що у вересні спостерігались вищі показники температури повітря, ніж зазвичай, що ускладнило моделі ARW створювати прогнози з урахуванням цього факту та з більшою точністю наприкінці. На гістограмі для другої (48 год.) та третьої доби (72 год.) помітно схожу закономірність розподілів. На обох гістограмах, модель WRF ARW коректно визначила діапазони температур, наявність двох піків максимальної температури, та диференційний розподіл значень за весь час. Втім, на обох гістограмах теж ми можемо помітити, що попри все те, що модель прогнозувала правильно, вона помилилась і змістила свої прогнозовані значення вліво відносно фактичних. Це означає, що, як

показники прогнозованої температури повітря, так і деякі діапазони диференційних розподілів є нижчими на 2-3°C, ніж значення фактичних спостережень, то абсолютний максимум значень температури на гістограмах матиме таку ж саму похибку, що ми і спостерігаємо на обох зображеннях. На останній гістограмі для четвертої доби прогнозу (96 год.), вирізняється особливість моделі WRF ARW v.4.0 зі збільшенням доби прогнозу, до збільшення розсіювання прогнозованих даних. Це ми можемо помітити, якщо порівняємо останню гістограму з попередніми. Диференційний розподіл прогнозованих даних на четверту добу виглядає більш згладженим, піки температур не є настільки високими та різко вираженими, як на попередніх гістограмах, діапазон є більшим в сторону додатних значень, а замість двох піків кількості прогнозів із значенням температури, ми можемо спостерігати тепер три. Через високу розсіяність прогнозованих даних, ми можемо спостерігати, що модель не врахувала, що більша кількість спостережень може мати значення у цьому місяці більше 27°C, і що найбільше у цьому місяці спостерігатимуть значення температури 16-18°C. Оскільки ненормальне підвищення температури повітря у вересні місяці негативно вплинуло на точність прогнозів моделі WRF ARW v.4.0, і завадило їй створити більш точні прогнози із урахуванням цих умов, можна зробити висновок, що найкращими і найточнішими прогнозами моделі у вересні стали прогнози температури повітря для першої доби (24 год.). Попри наявність мінімальної температурної помилки між прогнозованими та фактичними даними, модель створила високоточні прогнози, які справджувались у більшості випадків. Найменш точними прогнозами моделі ARW можна вважати прогнози для четвертої доби (96 год.). Так склалось через особливість моделі до збільшення розсіювання прогнозованих даних зі збільшенням доби прогнозу із досягненням максимуму на четверту добу. Через високу розсіяність даних, падає точність та відповідність прогнозів моделі для цієї доби. А впевнитись у цих висновках ми можемо проаналізувавши диференційні розподіли помилок прогнозованих та

фактичних даних із Додатку А для вересня. З огляду гістограм помилок прогнозів, можна помітити невелику схожість між розподілами для першої доби (24 год.) , для четвертої доби (96 год.) та розподілами для другої доби (48 год.) та третьої доби (72 год.) прогнозу. Якщо гістограми є лиш схожими візуально, при детальнішому огляді, помітно як вони відрізняються. Перша гістограма описує нормальний розподіл прогнозованих даних і піком різниці між прогнозами та спостереженнями в діапазоні 0°C. Попри те, що розподіл плавний, і присутні дані із більшою різницею, пік є чітким та високим, це означає, що більшість прогнозів, створені моделлю WRF ARW були високоточними і мали мінімальну різницю між прогнозованими та фактичними даними. Гістограми для другого та третього дня є дещо схожими між собою. Одразу можна помітити, що на обох графіках, присутні вже 2 піки кількості спостережень у діапазонах близько -3 – +3°C. Оскільки ці піки є дуже високими, гістограми не є плавними і найбільша кількість прогнозів мають помилки саме в цих діапазонах температур. Якщо порівнювати гістограму для другої та третьої доби прогнозу, можна підмітити, що перша має більш різкий пік, у порівнянні з другою. На гістограмі для третьої доби (72 год.) дані про помилки прогнозів виглядають більш розсіяними, що підвищує імовірність наявності більшої кількості прогнозів з помилками у значно більших діапазонах. Гістограма для четвертої доби (96 год.) нагадує розподіл, як для першої доби прогнозу. Втім, помітно наскільки нижчим є пік кількості спостережень у діапазоні помилок 0-3°C. Розподіл є більш плавним і температурний діапазон є ширшим у порівнянні із першою гістограмою. Все це вказує на велику розсіяність даних у прогнозах моделі WRF ARW для четвертої доби прогнозу у вересні. Через її наявність, підвищується ймовірність появи великої кількості прогнозів із помилками у значно вищих діапазонах температур, що в свою чергу знижує точність її прогнозів у цьому місяці. Переглядаючи всі вище названі результати, можна назвати прогноз для першої доби (24 год.) найточнішим, а прогноз для четвертої доби (96

год.) найменш точним, через збільшення розсіювання та збільшення кількості прогнозів із помилками у великих значеннях різниці температур.

Для опису точності прогнозів температури повітря моделі WRF ARF v.4.0 у місті Рівне за жовтень, використаємо діаграми розсіювання (рис. А.10). Навіть без детального опису, а просто поглянувши, ми можемо помітити, наскільки сильно відрізняються всі 4 діаграми розсіювання в цьому місяці, і як зі збільшенням доби прогнозу, плавно зростає міра розсіювання даних далі від лінії тренду діаграми. Коротко проаналізувавши які значення температури спостерігались жовтні, ми можемо побачити, що цей місяць був доволі теплим із максимальними значеннями температури близько 30°C, та мінімальними значеннями, які іноді сягали 0°C. Попри те, що діаграма розсіювання для першої доби прогнозу виглядає найменш розсіяною з-поміж усіх представлених, ми можемо спостерігати деяку особливість кореляції між прогнозованими та спостереженими даними. У діапазоні приблизно +10°C, розсіювання даних спостерігається на мінімальному рівні. Хоча і більшість даних знаходяться в зоні лінії тренду, втім розсіювання на діаграмі для першої доби прогнозу (24 год.) не сягає нуля, оскільки точки не лежать ідеальною лінією, співпадаючи із трендом, а розташовані, як пояс, навколо тренду. У мірі збільшення та зменшення значень температури на діаграмі, збільшується і міра розсіювання даних, сягаючи свого максимуму у діапазоні максимальних значень прогнозованих та фактичних даних. Також ми можемо помітити невеликий зсув розсіювання даних вниз від лінії тренду діаграми, що може вказувати на те, що в цьому місяці, модель була схильна до завищення температурних даних своїх прогнозів у порівнянні із фактичними спостереженими даними. На діаграмі для другої доби (48 год.) ми можемо спостерігати збільшення міри розсіювання даних в обидві сторони від лінії тренду. На діаграмі для третьої доби (72 год.), міра розсіювання даних лише збільшується, охоплюючи все більшу територію, яка схожа на пояс навколо лінії тренду діаграми. Якоїсь певної закономірності чи особливої кореляції на цих діаграмах не помітно, єдине що ми можемо підмітити, що попри

збільшення розсіювання даних, прогнози моделі WRF ARW v.4.0 лишаються високоточними, оскільки чітко можна побачити, що найбільша кількість точок все ж перебувають у самому центрі, найближче до лінії тренду діаграми, зливаючись разом. Діаграма для четвертої доби (96 год.) виглядає найбільш розсіяною. У порівнянні із першою діаграмою, остання більше схожа на хмару, ніж на лінію із позитивною кореляцією. Точки діаграми мають високий рівень розсіяності, відсутній спільний тренд, дуже багато точок діаграми випали далеко з діапазону даних, що означає наявність різких змін температури, які модель WRF ARW на четвертий день прогнозу у жовтні не змогла коректно передбачити.

Більш детально розглянути вище описану інформацію ми можемо за допомогою коробчастих діаграм для жовтня (рис. А.10). Поглянувши на всі 4 діаграми, можна одразу помітити, що у цьому місяці спостерігався великий діапазон температур фактичних спостережень. На всіх коробчастих діаграмах спостерігаються більші діапазони фактичних температур, у той самий час, як діапазон прогнозованих показників є меншим. Попри це, розташування медіан обох частин діаграм, є приблизно однаковим, що вказує на те, що не зважаючи на це все, прогнози моделі у жовтні місяці є дуже точними, і середня температура максимальної концентрації кількості даних як спостережених та прогнозованих, є визначеною із мінімальною помилкою завдяки чисельній моделі WRF ARW v.4.0. Коробчасті діаграми для першої доби прогнозу (24 год.) та для другої доби прогнозу (48 год.) є дещо схожими, втім, на першій діаграмі, діапазон величин прогнозованих температур є меншим, за діапазон фактичних. Попри однакові розміри обох коробочок максимальної концентрації даних, коробочка прогнозованих даних є дещо зміщеною вправо від «коробочки» спостережених. Це є ознакою невеликого завищення значень температури при створенні прогнозів температури повітря моделлю WRF ARW v.4.0. Так як на діаграмі розсіювання для другої доби, було помітне збільшення міри розсіювання точок на графіку, то збільшення діапазону прогнозованих даних може

свідчити про те ж саме. Не зважаючи на те, що завдяки розсіюванню даних, діапазон температур прогнозів став більше схожим до діапазону фактичних температур, зменшення розміру «коробочки» максимальної концентрації даних температури прогнозів, означає, що через збільшення помилки та зменшення точності моделі WRF ARW, зменшується і рівень концентрації прогнозів, в одному визначеному діапазоні температур. Діаграма для третьої доби прогнозу (72 год.) показує зменшення діапазону прогнозованих температур у порівнянні із минулою діаграмою. Всі три діаграми, які були описані вище показують особливість моделі ARW завищувати свої прогнози відносно фактичних значень, хоч і зовсім невеликою мірою. На четвертий день прогнозу (96 год.) помітно невелику відмінність у тому, що тепер коробочка максимальної концентрації даних прогнозів моделі зміщена вліво відносно «коробочки» максимальної концентрації фактичних спостережень. Розмір «коробочки» для прогнозів моделі WRF ARW є дещо більшим за коробочку для фактичних спостережень, діапазон прогнозованих даних значень температури є теж збільшений по відношенню до діапазону фактичних значень температури. Це в свою чергу вказує на більше розсіювання значень прогнозу температур на четверту добу, та збільшення діапазону із найбільшою кількістю прогнозованих значень, але це не означає, що кількість прогнозів які мали 100% справджуваність, збільшилась. Впевнитись у цьому ми можемо завдяки даним із Додатку А, а саме завдяки гістограмам диференційних розподілів прогнозованих та фактичних значень для жовтня.

З першого погляду на діаграми, одразу ми можемо помітити, що диференційні розподіли фактичних значень спостережень для першої, другої, третьої та четвертої доби є однаковими, також ми можемо побачити максимальну кількість спостережень із піком, вища межа якого виходить за межі максимальної кількості прогнозів гістограми, у температурному діапазоні 10-15°C. Через те, що кількості фактичних спостережень є цілими значеннями з показниками температур, диференційний розподіл

спостережень не є нормальним, та не є точним, як гістограми попередніх місяців. Але це не є показником наявності великих помилок у прогнозованих даних. Якщо детальніше розглянути гістограму для першої доби прогнозу (24 год.), можна помітити, наскільки схожими є диференційні розподіли прогнозованих даних та фактичних. Пік гістограми знаходиться в тому ж діапазоні 13-15°C, втім можна помітити, що загальний діапазон фактичних спостережень є дещо ширшим від прогнозованих. На гістограмі для другої доби (48 год.), можна помітити, що диференційний розподіл прогнозованих даних став плавнішим, за рахунок появи одного, але низького і широкого піку у діапазоні 7-13°C. Так як діапазон став ширшим, можна стверджувати про збільшення міри розсіювання прогнозованих даних у порівнянні із даними фактичних спостережень. Закономірність загального температурного діапазону, зберігається такою самою. На наступній гістограмі для третьої доби (72 год.) спостерігається округлення диференційного розподілу за рахунок збільшення кількості прогнозів у діапазоні температур до +10°C, та від +16°C. Виходячи з того, що диференційний розподіл фактичних значень температури лишився незмінним навіть на третю доби, а розподіл прогнозованих даних став нижчим і більш плавним, можна припустити, що з третьої доби, помилка між прогнозами температури та спостереженнями, буде іноді сягати великих значень, особливо у значеннях температур, які не входять у діапазон максимальної концентрації значень. На гістограмі для четвертої доби (96 год.) вже стає дуже помітним, наскільки нижчим та плавнішим став пік диференційного розподілу. Пік кількості прогнозів не тільки став нижчим, але і сам розподіл став більш заокругленим, якщо порівнювати із першою гістограмою. Також на останній гістограмі ми можемо зауважити зменшення загального температурного діапазону прогнозованих величин, що у свою чергу, знижує точність прогнозів на четверту добу, оскільки збільшує можливість наявності прогнозів, які випадуть за межі температурного діапазону розроблених прогнозів моделлю WRF ARW v.4.0. Оскільки через недосконалість вихідних даних в жовтні

місяці здійснити детальний опис ми не можемо, але покращити порівняльну характеристику можна завдяки даним про величину та наявність помилок у прогнозах із Додатку А для жовтня.

Одразу виділяється з-поміж чотирьох гістограм, диференційний розподіл помилок прогнозів для першої доби (24 год.). На ньому спостерігається високий та чіткий пік кількості прогнозів із діапазоном помилок $0-2^{\circ}\text{C}$, мінімальна кількість прогнозів переходить різко високий пік, у значенні діапазону $-2 - +3^{\circ}\text{C}$. Розподіл є ненормальним, але це хороший показник високоточності прогнозів моделі WRF ARW на першу добу, оскільки максимальна кількість прогнозованих даних припала на мінімальну різницю між показниками фактичних спостережень та змодельованих температур. Диференційний розподіл помилок прогнозів для другої доби (48 год.), виглядає більш згладженим, а пік максимальної кількості прогнозів хоч і знаходиться в діапазоні $2-4^{\circ}\text{C}$, але він є майже вдвічі нижчим, ніж на попередній гістограмі. Диференційний розподіл помилок прогнозів для третьої доби (72 год.) близький до нормального розподілу, втім варто зауважити появу 2 піків кількості прогнозів, і за рахунок цього, зростання ширини діапазону різниці температур, що тепер сягає $-3 - +3^{\circ}\text{C}$. Це вказує на збільшення міри розсіювання даних, і та з цієї причини зниження точності прогнозів моделі WRF ARW. На останній гістограмі диференційного розподілу помилок прогнозів для четвертої доби (96 год.) ми можемо спостерігати незначне зниження піку кількості прогнозів у порівнянні із попередньою гістограмою, та її зміщення вправо. Оскільки, максимальна кількість помилок у прогнозах для третьої доби мала значення -3°C , то через зміщення піку по діапазону різниці температур на останній гістограмі, її значення становить вже $+3^{\circ}\text{C}$. Також на останній гістограмі спостерігається значне збільшення загального температурного діапазону, яке створила модель WRF ARW v.4.0 для жовтня. З цієї причини ми можемо побачити виникнення окремого піку кількості прогнозів зізнанням помилки $-15 - -10^{\circ}\text{C}$. Це є валивоб ознакою, але причиною його появи є схильність чисельної

моделі ARW до значного розсіювання даних зі збільшенням доби прогнозу, через це на четверту добу підвищується можливість випадання деяких прогнозованих величин далеко за межі заданого діапазону величин температури.

Беручи до уваги усе, сказане вище, ми можемо зробити висновок, опираючись на всі проаналізовані мною дані, що прогноз температури повітря у жовтні місяці для міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v.4.0 для першої доби прогнозу (24 год.) став найточнішим, із найбільшою кількістю прогнозів у діапазоні значень різниці температур близько 0°C, та наявністю найменшого розсіювання даних. У той час як, прогноз WRF ARW v.4.0 для четвертої доби (96 год.) став найменш точним, через наявність високої міри розсіювання проаналізованих даних, та тому, що деякі змодельовані прогнози температури мали значні показники різниці між фактичними та прогнозованими даними.

Для повного опису точності прогнозів моделі для осіннього періоду, розглянемо детальніше графіки для листопада 2023 року у місті Рівне. Початкове поняття про загальний розподіл та тип кореляції даних ми можемо побачити, якщо розглянемо дані із діаграм розсіювання (рис. А.11). всіх представлених діаграмах, ми можемо побачити нормальний розподіл, та збільшення міри розсіювання із збільшенням доби прогнозу. На діаграмі розсіювання для першої доби прогнозу (24 год.) спостерігається наявність розсіювання у мінімальній мірі, оскільки точки на діаграмі розташовані вздовж лінії тренду діаграми. Хоч точки не співпадають ідеально і не зливаються із трендом, але знаходяться в близькому діапазоні лінії тренду діаграми, і виглядають, як вузький пояс, описуючи розташування та напрямок лінії тренду діаграми. Через це, діаграму розсіювання для першої доби прогнозу, можна назвати майже ідеальним розподілом, а прогнози, які створила модель WRF ARW у цьому місяці для першої доби є одні із найточніших. На діаграмі для другої доби можна помітити невеликі зміни у розподілі точок по площині діаграми. Розсіювання збільшується ближче до

нижнього краю та верхнього краю сукупності точок. Посередині, у діапазоні температур 4-10°C, ми можемо спостерігати дещо менший рівень розсіювання, оскільки точки у цьому діапазоні є орієнтованими на лінію тренду діаграми. Так ми можемо помітити декілька точок, які знаходяться в нижньому кутку діаграми, та знаходяться далеко від лінії тренду діаграми, тому можна зробити висновок, що ці деякі точки випали із межі діапазону прогнозів, чи були прогнозовані із значною помилкою. При аналізуванні діаграми для третьої доби (72 год.), ми можемо помітити, що цих точок, які описані вище, стало більше, а їх розташування все більше віддалилось від лінії тренду діаграми. Судячи із розташування цих точок, можна зробити висновок, що ці значні помилки у формулюванні прогнозів саме у цьому діапазоні, пов'язані із тим, що модель неправильно інтерпретувала зниження температури повітря у листопаді і зі збільшенням доби прогнозу продовжила помилково опрацьовувати дані у своїх прогнозах, і тим самим дуже сильно занижила значення температури для деяких створених прогнозів. Через це, можна вважати, що такі прогнози випали із діапазону фактичних температур. Попри те, що на діаграмі для третьої доби, вже помітно розсіювання даних у більшій мірі, свого максимуму воно досягає на діаграмі для четвертої доби (96 год.). Якщо порівнювати розташування точок на останній діаграмі із першою, одразу можна побачити, що на останній діаграмі рівень розсіювання точок сягнув свого максимуму з-поміж інших діаграм, а сам розподіл нагадує хмару, без видимої чіткої кореляції, як це можна було помітити на попередніх діаграмах. У той самий час, як розподіл точок на першій діаграмі нагадував тонкий пояс навколо лінії тренду. Зі збільшенням міри розсіювання, точність прогнозів моделі WRF ARW зменшується відповідно, але величину зниження та вплив факторів на зниження точності прогнозів моделі ми можемо зрозуміти трохи детальніше за допомогою коробчастих діаграм (рис. А.23). Розглядаючи першу діаграму, ми можемо спостерігати підтвердження із діаграми розсіювання для першої доби (24 год.). Так як діаграма розсіювання показала нам нормальний розподіл із високою

точністю прогнозів та мінімальним рівнем розсіювання, то і на коробчастій діаграмі ми теж можемо спостерігати повторення закономірностей. Перша ознака - це великий розмір коробочок максимальної концентрації даних, та їх ідентичні розміри як фактичних спостережень, так і прогнозованих даних значень температури. У порівнянні із попередніми місяцями, розміри коробочок максимальних концентрацій на діаграмі для першої доби прогнозу справді виглядають набагато більшими. Це є ознакою того, що у цьому місяці набагато більше даних були зосереджені у центрі діапазону температур, і вони не були занадто розсіяними по всьому діапазону. А однаковий розмір коробочок свідчить про те, що модель WRF ARW змогла правильно ідентифікувати кількість даних, які будуть зосередженими у центрі діапазону. Щодо самого діапазону, то діапазон прогнозованих даних є дещо меншим, ніж діапазон фактичних температур. На всіх коробчастих діаграмах для листопада, ми можемо спостерігати властивість моделі WRF ARW v.4.0 до незначного завищення даних у прогнозах. Це можна зрозуміти з незначного зміщення медіан прогнозованих значень усіх чотирьох коробчастих графіків вправо по відношенню до медіан фактичних спостережень. На діаграмі для другої доби прогнозу (48 год.) ми можемо спостерігати подібну характеристику, розміри коробочок є такими ж, та діапазон прогнозованих значень теж є трохи меншим за діапазон фактичних температур. На діаграмі для третьої доби (72 год.) ми можемо спостерігати зменшення розмірів коробочок максимальної концентрації даних у порівнянні із попередніми двома діаграмами. Попри те, що медіана прогнозованих показників для третьої доби так само є зміщеною вправо, сам повний температурний діапазон моделі ARW на третю добу є сильно зміщеним вліво. Але через те, що коробочка залишилась на своєму попередньому розташуванні, ми можемо припустити, що лише деякі прогнози випали так далеко за діапазон фактичних температур. Діапазон прогнозованих температур на діаграмі для четвертої доби прогнозу є більшим, та майже співпадає із діапазоном фактичних спостережень. Що є

показником того, що на четверту добу прогнозу (96 год.) відсутні прогнози із великою помилкою, які би випадали із діапазону фактичних температур.

Для детальнішого огляду розподілу прогнозів на шкалі температурного діапазону, слід оглянути гістограми диференційного розподілу прогнозованих та фактичних даних із Додатку А для листопада.

Не зважаючи на те, що гістограми для першої (24 год.) та другої доби (48 год.) прогнозу є майже ідентичними, візуально ми можемо спостерігати, як модель WRF ARW мала труднощі із урахуванням настання низьких температур, і прогнозувала більшу кількість даних із вищим значенням температури у листопаді. Диференційні розподіли є плавними, є наявні 2 піки максимальної кількості прогнозів у діапазонах $-5 - 0^{\circ}\text{C}$, та $+5 - +10^{\circ}\text{C}$. Розподіл прогнозованих значень повторює розподіл фактичних значень, але більша кількість прогнозів була зроблена саме для вищих значень температури. На гістограмі для третьої добу прогнозу (72 год.), вихідні дані моделі WRF ARW були не такими точними, із заокругленими значеннями прогнозованих температур. Через це ми можемо помітити наскільки більш точною виглядає гістограма диференційних розподілів фактичних температур у порівнянні із прогнозованими. Попри значну неточність, спостерігається схожий розподіл, із наявними двома піками даних обох діапазонів. І саме через такі вихідні дані, можна спостерігати неточності у діапазоні негативних значень прогнозованої температури. Гістограма для четвертої доби прогнозу вже має звичайні значення вихідних даних прогнозів моделі WRF ARW, саме тому можна побачити більш детально побудовану гістограму. На ній ми можемо спостерігати нормальний розподіл, який повторює розподіл фактичних температур. Є наявні два піки кількості прогнозів в діапазонах $-5 - -1^{\circ}\text{C}$, та $+5 - +10^{\circ}\text{C}$, і ці піки так само є більш вираженими у значеннях додатніх температур, недооцінюючи кількість спостережень із меншими значеннями температур, яких у листопаді була велика кількість. На четверту добу прогнозу, схильність моделі WRF ARW v.4.0 до розсіювання даних, насправді допомогла прогнозам у

листопаді досягти майже ідеальну точність, оскільки і фактичні значення температур теж були сильно розсіяними на четвер у добу (96 год.). Краще зрозуміти величину помилок можна, якщо розглянути детальніше гістограми із Додатку А, а саме диференційні розподіли помилок прогнозів для листопада. На гістограмі для першої доби прогнозу ми можемо спостерігати дуже вузький діапазон помилок температури із високим піком кількості прогнозів у діапазоні 0° , фактично загальний діапазон складав $-2 - 3^{\circ}\text{C}$, що є найвужчим діапазоном різниці температур з усіх розглянутих вище місяців. На гістограмі для другої доби прогнозу (48 год.), спостерігається розширення діапазону різниці температур. Сам диференційний розподіл має один високий пік кількості прогнозів із помилкою у діапазоні $-1 - +3^{\circ}\text{C}$. Оскільки загальний діапазон температур зростає, як і зростає величина діапазону температурних помилок найбільшої кількості прогнозів, ми можемо прослідкувати з цієї інформації поступове зниження точності прогнозів моделі WRF ARW. На третю добу прогнозу (72 год.), можна побачити ще більше розширення діапазону температурних помилок та появу другого піку кількості прогнозів. Основний пік максимальної кількості прогнозів перебуває у діапазоні $-2 - +2^{\circ}\text{C}$, а другий пік з'являється у температурному діапазоні $-8 - -6^{\circ}\text{C}$. Втім через нижчу якість вихідних даних, важко ретельніше оглянути дану гістограму. На четверту добу прогнозу (96 год.), ми можемо побачити зменшення загального діапазону температурних помилок, а також деяке згладження гістограми у порівнянні із попередніми, які були представлені вище. Попри це, гістограма досі має один різкий пік максимальної кількості прогнозів у діапазоні $-1 - +2^{\circ}\text{C}$. Насамперед, це є дуже хорошим показником високої точності моделі навіть на четвертий день прогнозу. Втім, як писалось вище, схильність моделі WRF ARW v.4.0 більше розсіювати дані зі збільшенням доби прогнозу, оскільки вихідні дані у фактичних спостереженнях на четверту добу теж були доволі розсіяними, це допомогло моделі створити прогнози настільки високоточним. Підбиваючи підсумки для листопада місяця, можна зазначити, що прогноз моделі WRF

ARW v.4.0 для першої доби прогнозу став найточнішим не тільки для цього місяця, але й за увесь осінній сезон. Розподіл помилок мав дуже вузький температурний діапазон, а діаграми розсіювання показали майже ідеальний розподіл точок на лінії тренду діаграми, що свідчить про майже ідеальну точність. Найменш точними прогнозами в листопаді стали прогнози для третьої доби (72 год.). Попри те, що вихідні дані були не ідеальними для опису гістограм диференційних помилок, саме на цій діаграмі був присутній найбільший діапазон, та підвищення кількості прогнозів із великою похибкою прогнозів, що не спостерігалось на всіх інших гістограмах, а на діаграмі розсіювання, були присутні точки, які випали із загального діапазону фактичних та прогнозованих даних.

Кількісні критерії (ME, MAE та RMSE) для січня, лютого, вересня-листопада та грудня наведені у Додтаку Б.

3.2 Точність прогнозу приземної температури повітря у весняно-літній період

Розпочати порівняльну характеристику за весняно-літній період необхідно із опису прогнозів моделі WRF ARW v.4.0 для міста Рівне за березень. Для цього, ми можемо почати із аналізу даних з діаграм розсіювання із Додатку А (рис. А.3) для березня. Знаючи характеристику клімату на території міста Рівне у весняний період, а саме його мінливість, часті опади, надходження хвиль тепла та навіть вплив арктичних повітряних мас у березні-квітні, що може призвести навіть до появи снігу, ми можемо припустити, що у весняний період, прогнозам моделі буде притаманне зниження точності за рахунок непередбачуваності та мінливості погодних умов у цей період. Як підтвердження вище сказаного, це можна спостерігати на гістограмах розсіювання. Попри те, що аналізуючи всі попередні місяці, діаграма розсіювання для першої доби прогнозу, виглядала завжди найменш

розсіяною. То на діаграмах березня, значна міра розсіювання точок на діаграмі з'являється вже навіть на першій діаграмі для першої доби прогнозу (24 год.). По мірі збільшення доби прогнозу, розсіювання точок на діаграмах також збільшується і досягає свого максимуму на діаграмі для четвертої доби прогнозу (96 год.). При перегляді першої діаграми, можна помітити не лише наявність значного розсіювання, але і його характер. Міра його збільшується по мірі приближення до країв температурного діапазону. Тобто, максимум розсіювання спостерігається у діапазоні ближче до мінімальних та максимальних значень температурного діапазону, а мінімальне розсіювання ми можемо спостерігати посередині загального діапазону. Також слід зауважити, що попри наявності розсіювання, його характер не вказує на чіткий напрямок, а радше, охоплює всю зону як вгору, так і вниз від лінії тренду діаграми. Коли на першій діаграмі спостерігалась невелика кореляція із меншим розсіюванням посередині діапазону температур, то на діаграмі розсіювання для другої доби (48 год.), ця характеристика більше не спостерігається. Точки виглядають ще більш розкиданими по площині діаграми, ніж на попередній діаграмі. Втім, ми можемо помітити невелику характеристику стосовно положення точок. У діапазон із переважно меншими значеннями температури, розсіювання відбувається більшою мірою вниз від лінії тренду діаграми. А у діапазоні із переважно вищими значеннями температур, розсіювання відбувається значною мірою фокусує вгору від лінії тренду діаграми. З цього ми можемо зробити висновок, що при низьких значеннях температури фактичних спостережень, модель WRF ARW мала схильність до завищення даних своїх прогнозів, а при високих температурах, це було навпаки, і модель незначно занижувала прогнозовані дані. На наступній діаграмі (72 год.) спостерігається іще більше розсіювання точок на діаграмі. Описана вище характеристика розсіювання зберігається і на третю добу прогнозу, але через загальне збільшення розсіюваності, цю характеристику не вдасться побачити чітко. Втім, ми можемо спостерігати візуальне збільшення міри розсіювання ближче до

максимальних значень температурного діапазону, якщо порівнювати із розсіюваннях у діапазоні мінімальних значень загального температурного діапазону. На діапазоні розсіювання для четвертої доби (96 год.) дуже важко ідентифікувати хоч якусь характеристику чи кореляцію у розташуванні точок, тому що розсіювання є настільки сильним, що точки на діаграмі мають вигляд подібний до хмари із невеликим уточненням точок поблизу лінії тренду діаграми. Ще ми можемо помітити наявність декілька точок, які випали далеко за межі діапазону температур. Оскільки значне розсіювання не є показником того, що модель WRF ARW створювала прогнози із великими значеннями помилок, більше ми можемо дізнатись із коробчастих діаграм із Додатку А (рис. А.15) для березня.

Із усіх чотирьох представлених діаграм, ми можемо спостерігати описану вище характеристику погоди над територією міста Рівне навесні, а саме її мінливість. Адже скрізь можна побачити доволі вузький діапазон температур, які прогнозувала модель ARW, та шикорий діапазон фактичних температур. Не дивлячись на це, «коробочки» максимальних концентрацій значень на всіх діаграмах знаходяться на допустимій відстані одна від одної. Це може означати, що у березні спостерігались іноді поодинокі значення температури, які модель WRF ARW v.4.0 не змогла правильно визначити, і тому вони значною мірою випали за межі діапазону прогнозованих показників. Коробчасті діаграми для першої на другої доби (24 та 48 год.) є схожими між собою. Втім декілька відмінностей ми, все ж можемо побачити. На першій діаграмі, повний діапазон температур є дуже вузьким у порівнянні із діапазоном фактичних спостережень. А коробочка максимаьної концентрації значень температури за фактичних спостережень є набагато більшою за коробочку прогнозованих даних. На діаграмі для другої доби спостерігається збільшення діапазону даних WRF ARW, втім, розміри коробочок залишились такими самими. На діаграмі для третьої доби (72 год.) натомість спостерігається значне зменшення діапазону прогнозованих температур, і його зміщення вліво. Діаграма для четвертої доби (96 год.)

показує таку ж характеристику діапазонів. Звуження та зміщення діапазонів значення температури прогнозів означає її покриття здебільшого низькі значення температури. Оскільки діапазони не співпадали у значеннях більш високих температур, це означає що деякі спостереження не потрапили в діапазон значень прогнозів температури для березня, що в свою чергу підвищує наявність помилок. Не дивлячись на всі, названі вище, недоліки, межі та розміри коробочок максимальної концентрації даних як фактичних, так і прогнозованих, були лише трохи зміщені відносно одна одної, а медіани діаграм для прогнозованих даних мали ідентичне положення до медіан для фактичних даних. Це є ознакою, що навіть попри неточність у загальному діапазоні температур, моделі WRF ARW вдалося зберегти високоточність своїх прогнозів, які перебували у коробочках макимальної концентрації даних.

Хоч коробчасті діаграми є хорошим інструментом для детальнішого опису, конкретніше ми можемо дізнатись про розподіли в березні із Додатку А (рис. А.27). На перший погляд, усі гістограми диференційного розподілу виглядають приблизно однаковими, але деякі відмінності між ними все ж є. Першим що одразу хочеться описати, це те, що на гістограмах зображений ненормальний розподіл. На усіх графіках не вирізняється чіткого піку, плавного зростання кількості прогнозів, та якоїсь певної закономірності, стосовно як співвідносяться прогнозовані дані та фактичні показники. На гістограмі для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо спостерігати ненормальний розподіл, із наявністю двох піків максимальної кількості прогнозів та їх доволі невелика висота, що спричинене значним показником розсіювання, якого ми могли вже помітити раніше. Іще ми можемо помітити особливість збільшення концентрації прогнозів із температурами в середній частині діапазону $0 - 12^{\circ}\text{C}$, що призвело до недооціненою моделлю кількості спостережень у діапазоні нижче 0°C , та вище 12°C . Подібну ситуацію ми можемо спостерігати також на гістограмі для другої доби прогнозу (48 год.). Втім, обидва піки є вищими, за попередні, що сталось за рахунок вужчого

діапазону прогнозованих даних, та більшої концентрації кількості прогнозів температур $0 - 2^{\circ}\text{C}$, та $7 - 8^{\circ}\text{C}$. На гістограмі для третьої доби (72 год.), ми можемо побачити розширення меж діапазонів двох піків кількості прогнозів, які становили $-2 - 2^{\circ}\text{C}$, та $4 - 7^{\circ}\text{C}$. За рахунок цього, дані, які опинились за межами цих двох діапазонів залишились некоректно оціненими, оскільки модель WRF ARW, помилково видала меншу кількість прогнозів у цих діапазонах, ніж спостерігалось дійсно. Також на третій гістограмі можна підмітити звуження діапазону прогнозованих температур, через це, невелика частина фактичних температур $15 - 19^{\circ}\text{C}$, і зовсім не урахувалась моделлю ARW, як можлива. На останній гістограмі для четвертої доби (96 год.) спостерігається подібна ситуація, але діапазон прогнозованих значень тут ширший, ніж на попередній гістограмі, тому покриває більше значень температури при фактичних спостереженнях. Більша кількість прогнозів зосереджена саме в діапазоні $-2 - 2^{\circ}\text{C}$, тому кількість спостережень поза цим діапазоном залишились недооціненими моделлю ARW. Оскільки метеомодель створила значну кількість прогнозів саме у цьому діапазоні, ніж це спостерігалось в дійсності, то деяка кількість спостережень зі значеннями більше та менше цього діапазону, були прогнозовані моделлю WRF ARW v.4.0 із меншою частотою.

Краще поняття про величину помилок прогнозів у березні для міста Рівне, ми матимемо при перегляді даних із Додатку А (рис. А.39), а саме диференційні розподіли величини помилок прогнозів для березня. Усі гістограми є доволі різними, тому якусь одну характеристику, спільну для всіх чотирьох, назвати складно. На гістограмі для першої доби прогнозу (24 год.), ми можемо побачити розподіл із вузьким діапазоном температурних помилок, та є наявний один пік кількості прогнозів із величиною помилки в діапазоні $-2 - 3^{\circ}\text{C}$. Оскільки, як було зрозуміло із діаграм розсіювання, березню із першої доби прогнозу було притаманне значне розсіювання, тому ми і можемо спостерігати пік кількості прогнозів, який має широкий діапазон, втім від цього модель не втрачає свою високоточність. На

гістограмі для другої доби (48 год.), одразу можна помітити розширення загального діапазону помилок температури, у порівнянні із минулою. Розподіл виглядає плавнішим, а діапазон піку кількості прогнозів перебуває у межах $-3 - 4^{\circ}\text{C}$. Попри те, що помилки досі незначні, не можливо не помітити вплив зростання розсіяності проаналізованих даних. На наступній гістограмі для третьої доби (72 год.), загальний діапазон температурних помилок прогнозів є іще ширшим, ніж на попередніх гістограмах. Через розширення діапазону та збільшення загального розсіювання даних, гістограма має плавний перехід та мало виражений пік максимальної кількості прогнозів. Також на цій гістограмі можна спостерігати появу другого невеликого піку кількості прогнозів у діапазоні $-4 - -6^{\circ}\text{C}$. На останній гістограмі ми можемо побачити, що діапазон температурних помилок прогнозів іще ширшим став, досягаючи свого максимум. За рахунок того, що на гістограмі для четвертої доби (96 год.), ми більше не спостерігаємо появу другого піку кількості прогнозів, диференційний розподіл виглядає більш різким, із єдиним піком кількості прогнозів у діапазоні температур $-4 - 4^{\circ}\text{C}$. Отже, підсумовуючи всю отриману та проаналізовану інформацію, можна назвати прогноз моделі WRF ARW v.4.0 для Рівного у березні на першу добу прогнозу (24 год.) - найточнішим. На це вказує найменш виражене розсіювання даних температури із діаграм розсіювання, а також найменший діапазон температурних помилок. А найменш точним прогнозом моделі WRF ARW v.4.0 у березні, став прогноз для четвертої доби (96 год.). Насправді, прогноз для третьої доби теж, не можна назвати високоточним, але прогнози для четвертої доби мали максимальне розсіювання даних за діаграмою розсіювання, а також, мали найширший діапазон температурних помилок. Хоч і кількість прогнозів із помилками у значному температурному діапазоні є мінімальною, але факт того, що вони взагалі присутні, означає сожливість наявності значних помилок у деяких прогнозах.

У місяці квітні, на території міста Рівне, зазвичай зберігається мінливий режим погоди, часті грози та дощі. Через притаманність досягати високих значень температури повітря, у квітні очікується доволі великий діапазон температур, а також через мінливість погодніх умов, це може завадити моделі WRF ARW створити високоточні прогнози температури повітря у цьому місяці.

Підтвердити ці припущення, ми можемо проаналізувавши діаграми розсіювання із Додатку А (рис. А.4) для квітня. Одразу ми можемо спостерігати наявність сильного розсіювання починаючи із початку, тобто із діаграми для першої доби (24 год.). Порівнюючи із усіма описаними вище місяцями, розсіювання на першій діаграмі є найбільшим із усіх діаграм розсіювання для першої доби інших місяців. При тому, помітно невелику закономірність, розсіювання є більшим, тобто, точки розташовуються на більшій відстані від лінії тренду діаграми у діапазоні високих температур. Це може свідчити про мінливість погоди у квітні місяці, а також про те, що модель WRF ARW недооцінила можливість настання дуже теплої погоди із високими значеннями температури, і тому занизила їх значення у прогнозах. Діаграми для другої доби (48 год.) та третьої доби (72 год.) є дещо схожими. Міра розсіювання на обох діаграмах є приблизно однаковою, але більшою ніж на попередній діаграмі. На діаграмі для другої доби ми можемо помітити зменшення розсіювання посередині температурного діапазону у межах 5 – 10°C. Втім на діаграмі для третьої доби, це зменшення зникає, і розсіювання лишається таким самим по всій площі розподілу точок. Іще на третій діаграмі можна помітити невелику особливість зміщення напрямку розсіювання після відмітки 10°C, вгору від лінії тренду діаграми. В цьому діапазоні, розсіювання вниз майже не відбувається, із чого можна зробити висновок, що у квітні місяці спостерігатись ненормальні сильні потепління температури, із якими модель WRF ARW мала труднощі при створенні прогнозів погоди, тому у цьому діапазоні температур, значення прогнозованих величин буде заниженим. На діаграмі для четвертої доби прогнозу (96 год.) ми можемо

побачити збільшення розсіювання даних, і на цій діаграмі, розсіювання досягає свого максимуму. Також ми можемо побачити декілька точок, які випали далеко за межі температурного діапазону. Тобто воно має направлення не вздовж лінії тренду діаграми, а вся хмара точок, повернута вліво від тренду. Описуючи простіше, розсіювання відбувається у більшій мірі вниз в діапазоні близькому до мінімальних значень загального діапазону температур, а на протилежному боці, ближче до діапазону максимальних значень температур, воно відбувається в більшій мірі вгору від лінії тренду.

Попри те, що діаграми розсіювання дали нам початкове поняття, стосовно погодних умов у квітні, детальніше ми можемо розглянути це питання із коробчастих діаграм з Додатку А (рис. А.16) для квітня. Одразу ми можемо спостерігати підтвердження припущення, яке було згадано на початку опису квітня місяця. Тобто, дуже широкий діапазон температур спостережень і, оскільки всі «коробочки» максимальної концентрації даних спостережень мають зовсім маленький розмір - це є підтвердженням того, що погода була дуже мінливою, і мало значень температури спостерігались у якомусь певному діапазоні. Розподіл у цьому місяці нагадує радше розподіл із мінімальною кореляцією. На коробчастій діаграмі для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо спостерігати коротший діапазон прогнозованих даних, який не охоплює високі значення температури вище 17°C. Сама коробочка максимальної концентрації прогнозованих даних має менший розмір за коробочку фактичних даних. Це наштовхує на висновок, що модель WRF ARW створила меншу кількість прогнозів у основному діапазоні температури, натомість, вона розсіяла кількість прогнозів по всьому діапазону температур. На діаграмі для другої доби ми можемо спостерігати зменшення діапазону прогнозованих показників, і тепер прогнози моделі ARW не охоплюють значення нижче -2°C, та вище 17°C. Коробочка максимальної концентрації прогнозованих даних є теж трохи меншою за коробочку даних спостережень. На діаграмі для третьої доби ми можемо спостерігати ті самі закономірності, але з більшою мірою, так як

діапазон фактичних значень став іще більшим, і мав значення набагато вище 20°C , то діапазон прогнозованих даних, не містить у собі значення більше 18°C . Коробочка є ще меншою, ніж на попередніх діаграмах. І її зменшення означає збільшення міри розсіювання даних прогнозів моделі, через що, вона мала труднощі у створенні правильної кількості прогнозів у основному діапазону $5 - 10^{\circ}\text{C}$. Те ж саме ми можемо спостерігати і на діаграмі для четвертої доби прогнозу (96 год.). Діапазон прогнозованих даних є вузьким і не охоплює температури деяких спостережень у від'ємному діапазоні, та у діапазоні високих додатніх температур. А коробочка максимальної концентрації прогнозованих даних має іще менший розмір, що вказує на розсіювання у великій мірі на четверту добу прогнозу. Попри те, що усі медіани діаграм мають приблизно однакове розташування, що означає коректно визначену середню температуру моделлю WRF ARW, ми можемо іще помітити невелике зміщення медіани «коробочки» прогнозів вліво, відносно медіани «коробочки» спостережень. Це вказує на заниження значень температури моделлю WRF ARW v.4.0 відносно фактичних даних спостережень температури у квітні.

Трохи детальніше про розподіли температур ми можемо дізнатись із даних гістограм у Додатку А (рис. А.28), а саме диференційні розподіли фактичних та прогнозованих температур у квітні. При розгляді цих гістограм, ми можемо підмітити, що всі гістограми мають нормальний розподіл, із одним різким та високим піком кількості спостережень, та плавний розподіл від піку до меж температурного діапазону. На першій гістограмі ми можемо спостерігати, що модель WRF ARW створила найбільше прогнозів для температури $5-8^{\circ}\text{C}$, що значно перевищило кількість фактичних спостережень для цієї температури, внаслідок чого, кількість спостережень для високих температур, були недооцінені моделлю WRF ARW, а деякі значення навіть вийшли за межі діапазону прогнозованих даних. На гістограмі для другої доби прогнозу (48 год.) ми бачимо появу другого невеликого піку кількості прогнозів, і тепер основний пік лежить у

межах $5 - 10^{\circ}\text{C}$, а додатковий $-3 - 0^{\circ}\text{C}$. Через те, що модель зосередила більшу кількість прогнозів для температур із нижчими значеннями, кількість спостережень у діапазоні із високими значеннями температури не були коректно оцінені, а деякі спостереження вище 17°C , не були ураховані в діапазон прогнозованих значень. Гістограми для третьої (72 год.) та четвертої доби (96 год.) мають схожу відмінність. Вихідні дані спостережень мають заокруглені значення, і тому не є точними, через це, ми можемо припустити, що розподіли мають приблизно однаковий вигляд із попередніми гістограмами для спрощення аналізування. На діаграмі для третьої доби прогнозу ми можемо помітити зменшення діапазону температур у значній мірі, та збільшення розміру додаткового піку у діапазоні $-2 - 0^{\circ}\text{C}$. Через значне зменшення розмірів діапазону температур, можна спостерігати, що багато фактичних спостережень випали за межі цього діапазону. А також через концентрацію кількості прогнозів із меншими значеннями температури, було неправильно оцінено кількість спостережень з високими температурами. На останній гістограмі, діапазон температур є іще меншим, додатковий пік також зменшився у розмірі. Помітна основна концентрація даних прогнозів у вузькому діапазоні, та заниження кількості прогнозів для температур у вищому діапазоні значень. Попри те, що дані гістограми допомогли дати детальніше поняття про розподіл температури, але краще про помилки прогнозів ми можемо дізнатись із гістограм у Додатку А (рис. А.40), а саме диференційні розподіли помилок прогнозів для квітня.

Із першої гістограми ми можемо побачити, що розподіл є плавним, максимум кількості помилок є чітким та перебуває у діапазоні $-2 - 2^{\circ}\text{C}$. Є наявність другого додаткового піку кількості прогнозів, але він майже непомітний і слабо виділяється. Попри плавний розподіл, гістограма має дуже вузький діапазон значень, що виключає наявність помилок із великим значенням. Гістограми для другої (48 год.) та для третьої доби (72 год.) мають схожий розподіл. Піки максимальної кількості прогнозів мають ширший діапазон $-5 - 3^{\circ}\text{C}$, а самі піки є нижчими і не такими різкими у

порівнянні із першою гістограмою. Також можна спостерігати наявність невеликого підвищення кількості прогнозів у діапазоні вище 5°C . Також слід зауважити, що загальний діапазон температурних помилок збільшується зі збільшенням доби прогнозу і досягає максимуму на четверту добу прогнозу (96 год.). На останній гістограмі, ми спостерігаємо один високий пік кількості прогнозів у діапазоні $-5 - 5^{\circ}\text{C}$, та плавний розподіл значень у межах всієї гістограми. Наявність другого додаткового піку кількості прогнозів більше не спостерігається. Втім, через широкий діапазон температурних помилок на четверту добу, підвищується можливість наявності помилок із великим значенням у прогнозах для квітня.

Зважаючи на цей факт, та всю описану вище інформацію стосовно квітня над територією міста Рівне, ми можемо зробити висновок, що прогноз моделі WRF ARW v.4.0 для першої доби (24 год.) став найточнішим. Попри те, що його діаграма розсіювання описувала присутнє розсіювання у значній мірі, а гістограми диференційного розподілу не описували ідеальний розподіл, його вузький температурний діапазон помилок, та діапазон температур прогнозів із коробчастих діаграм найбільше відповідали дійсності. Тоді найменш точним прогнозом моделі WRF ARW v.4.0 для квітня над територією міста Рівне став прогноз для четвертої доби (96 год.). На це вказували як і присутність деяких даних на діаграмі розсіювання далеко за межами діапазону значень, так і сильне розсіювання значень температури, яке можна було помітити на всіх описаних діаграмах та гістограмах. Також значним чинником неточності прогнозів для четвертої доби стали наявності помилок з великим значенням у прогнозах із гістограми розподілу помилок, та найбільший діапазон температурних значень помилок для четвертої доби.

Для опису травневих прогнозів та їх точність при моделюванні WRF ARW v.4.0 необхідно взяти до уваги особливості погодних умов над територією міста Рівне у цей період часу. А саме їх мінливість, зростання температури повітря до високих позначок, часті опади із грозами та подекуди

іноді значні зниження значень температури повітря. Через такі особливості погодних умов, очікується підтримування значного розсіювання даних на всіх діаграмах і через це, зростання помилок прогнозів у травні.

Беручи все це до уваги, спостерігати підтвердження припущень, ми можемо почавши із аналізу діаграм розсіювання для травня із Додатку А (рис. А.5). На кожній із діаграм спостерігається підтримування значного рівня розсіювання даних по всій площі графіку. Оскільки найменший рівень розсіювання спостерігається на діаграмі для першої доби (24 год.), а найбільший рівень розсіювання спостерігається на діаграмі для четвертої доби (96 год.). Незважаючи на це, не можна сказати що розсіювання збільшується значною мірою. Через те, що з першої діаграми, вже можна спостерігати розташування точок далеко від лінії тренду діаграми, зі збільшенням доби прогнозу, розсіювання зростає у незначній мірі. Також, на першій діаграмі ми можемо спостерігати збільшення міри розсіювання у діапазоні високих температур. І оскільки це розсіювання має напрямок вгору від лінії тренду діаграми, можна зробити висновок, що модель не змогла правильно створити прогнози температур із високими значеннями, занижуючи їх значення. На діаграмі для другої доби (48 год.) ми можемо спостерігати збільшення діапазону температур за рахунок видовженому розташуванню точок. А через те, що точки є розсіяними по графіку, ми можемо побачити появу пустих місць між даними. Також, ми бачимо напрямок розсіювання на цій діаграмі, що здійснюється у більшій мірі вгору від лінії тренду діаграми. Це є показником того, що модель у травні мала схильність до заниження своїх показників температури у діапазоні високих температур при фактичних спостереженнях. Якщо на другій діаграмі все ще помітно напрямок і фактичне розташування вздовж лінії тренду діаграми, то на діаграмі розсіювання для третьої доби (72 год.) ми можемо помітити зміну у закономірності, і тепер розсіювання більше відбувається не в довжину, а в ширину площі діаграми. Розподіл точок набуває вигляду хмари, проте невеликий тренд розміщення точок навколо тренду діаграми все ще можна

прослідкувати. Також ми можемо помітити, що розсіювання вгору відносно лінії тренду діаграми є набагато більшим, ніж розсіювання вниз. Із цього можна зробити висновок, що починаючи з третьої доби прогнозу, модель WRF ARW v.4.0 матиме часті помилки у діапазоні високих значень температури, за рахунок її схильності до заниження прогнозованих даних. Діаграма для четвертої доби прогнозу (96 год.) виглядає найбільш розсіяною з-поміж усіх представлених вище діаграм. Прослідкувати якусь певну кореляцію дуже складно, з'являються великі прогалини між точками, а також, спостерігаються певні точки, які випали із загального діапазону температури, перебуваючи далеко за лінією тренду. Єдину кореляцію яку можна прослідкувати на цій діаграмі, це спільний напрямок розсіювання точок, який просто повторює напрямок лінії тренду діаграми.

Попри те, що дані із діаграм розсіювання підтверджують припущення щодо режиму погоди у травні місяці над територією міста Рівне, детальніше розглянути розподіл ми можемо, проаналізувавши дані із коробчастих діаграм з Додатку А (рис. А.17) для травня. Одразу із першого погляду, ми можемо помітити, що через мінливість погоди, діапазон температур фактичних спостережень є набагато ширшим від діапазону прогнозованих даних. Це вказує на те, що у моделі WRF ARW є труднощі із прогнозуванням правильного діапазону температур для травня, особливо для періодів, які мають широкий діапазон температур. Також ми можемо помітити, що «коробочки» максимальної концентрації даних спостережень мають великий розмір, та не змінюють свого положення на всіх діаграмах, займаючи основний температурний діапазон 10 – 20°C. Це означає, що попри те, наскільки великим було розсіювання у травні, більше часу фактичні спостереження розташовувались саме у цьому температурному діапазоні. Усі чотири коробчасті діаграми мають схожі характеристики. Можна спостерігати, як діапазон прогнозованих даних є меншим за діапазон фактичних і що температура повітря, яка є меншою за 2°C, та вищою за 23°C, не потрапила у діапазон значень температури прогнозів моделі. Через менші

діапазони прогнозованих значень, модель розсіювала температурні показники своїх прогнозів значною мірою по всьому діапазону. Через це ми спостерігаємо менші розміри «коробочок» максимальної концентрації прогнозованих даних, якщо порівнювати із розмірами коробочок максимальної концентрації даних фактичних спостережень. На коробчастій діаграмі для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо спостерігати найбільший розмір «коробочки» максимальної концентрації прогнозів, втім її розмір є меншим, за коробочку фактичних спостережень. Також, можна помітити помилкове зміщення, як меж «коробочки» максимальної концентрації, так і її медіани вліво відносно іншої «коробочки». Через що, основний діапазон температур прогнозів розташувався в температурах 8 - 17°C, що є на декілька показників нижчим від основного діапазону фактичних спостережень. На коробчастій діаграмі для другої доби прогнозу (48 год.) ми можемо помітити появи тенденції до зменшення розміру «коробочки» максимальної концентрації прогнозів стосовно «коробочки» максимальної концентрації фактичних спостережень. Ця тенденція продовжиться і на діаграмі для третьої доби прогнозу (72 год.). Розмір «коробочки» прогнозів моделі тепер перебуває у діапазоні температур 10 – 17°C. Що не є дуже вузьким, але він все ще є набагато меншим за діапазон фактичних спостережень. А зміщення вліво медіани на діаграмі прогнозованих даних, стосовно медіани фактичних, нам вказує на продовження тенденції прогнозів моделі із нижчими значеннями, ніж фіксувались при спостереженнях. На діаграмі для четвертої доби (96 год.) ми можемо спостерігати найменший розмір «коробочки» максимальної концентрації прогнозованих даних, і її діапазон охоплює температури лише 11 – 16°C. Що є в рази меншим, якщо порівнювати його із розміром «коробочки» діаграми фактичних спостережень для цієї доби. Через значне зменшення відстані між межами «коробочки», ми можемо помітити, що і медіана діаграми прогнозів є теж значно зміщеною стосовно медіани спостережень. Це є основною ознакою підтвердження, що у травні модель

WRF ARW мала труднощі із прогнозуванням температури у вищому діапазоні значень.

Детальніше проаналізувати розподіл температур в травні ми можемо із гістограм у Додатку А (рис. А.29), а саме диференційний розподіл прогнозованих та фактичних даних для травня у місті Рівне. Одразу можна помітити, що вихідні дані не є дуже точними, а їх значення є заокругленими, що ускладнює детальний аналіз. Втім, загальні закономірності розподілу ми можемо дуже легко побачити.

Поглянувши на всі чотири гістограми, ми можемо помітити спільні закономірності у тому, як діапазон температур прогнозів не відповідає на повну величину діапазону температур фактичних спостережень. Метеомодель WRF ARW v.4.0 не змогла урахувати можливість існування температур у травні нижче 0°C, та вище 25°C. Всі гістограми мають ненормальний розподіл, в якому пік кількості прогнозів не є різким та високим. На гістограмі для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо побачити основний пік кількості прогнозів у діапазоні температури 7 – 15°C, і додатковий пік, який є менш вираженим у діапазоні 17 – 20°C. Оскільки весь розподіл є відносно плавним, обидва піки не є високими, а починають свій ріст у діапазоні 3 – 22°C. На гістограмі для другої доби прогнозу (48 год.), основний пік кількості прогнозів знаходиться у межах 10 – 15°C, а додатковий менший пік у межах 5 – 8°C. Оскільки, розподіл є схожим до першої гістограми і не є різкий, а піки не високі, загальний зріст кількостей прогнозів відбувається у діапазоні температур 4 – 22°C. На гістограмі для третьої доби положення основного піку кількості прогнозів є зміщеним і перебуває у межах 17 – 20°C, а додатковий пік є більш виражений, у порівнянні з минулими гістограмами, і перебуває у межах 10 – 14°C. Гістограма є відносно плавного розподілу, тому її зростання кількостей прогнозів починається у діапазоні температур, який є схожим до попереднього і становить 4 – 22°C. На гістограмі для четвертої доби прогнозу (96 год.), ми спостерігаємо виділення високого основного піку розподілу

кількості прогнозів у межах $10 - 15^{\circ}\text{C}$. Додатковий пік є теж присутній, але він дуже слабо виділяється і є майже непомітним у межах близько 17°C . На всіх чотирьох гістограмах помітні спільні закономірності малого діапазону температур прогнозів, які є меншими за діапазони фактичних спостережень. А також, через підвищений рівень розсіювання даних значень прогнозованої температури, всі розподіли є плавними із низькими піками кількостей прогнозів.

Краще поняття про наявність та величину помилок у прогнозах для травня, ми можемо зрозуміти із гістограм Додатку А (рис. А.41), а саме диференційні розподіли помилок прогнозів для травня. На усіх чотирьох гістограмах можна помітити доволі широкі температурні діапазони помилок, які збільшуються зі збільшенням доби прогнозу. Мінімальний діапазон можна побачити на гістограмі для першої доби прогнозу, а максимальний діапазон температурних помилок спостерігається на гістограмі для четвертої доби прогнозу.

Перша гістограма описує нормальний диференційний розподіл, із високим піком кількості прогнозів, але цей пік має доволі широкий діапазон температур у межах $-6 - 2^{\circ}\text{C}$. Через таку особливість, ми не можемо назвати прогнози у травні місяці такими ж точними, як зимові місяці, але саме гістограма для першої доби прогнозу показує найточніші результати, порівнюючи із результатами для інших діб. На гістограмі для другої доби (48 год.) спостерігається збільшення загального температурного діапазону помилок, а сам диференційний розподіл є плавнішим. Пік все ще добре виражений, та він є нижчим, і перебуває у межах $-5 - 2^{\circ}\text{C}$, також можна спостерігати невелике підвищення кількостей прогнозів із помилкою у діапазоні близько -8°C . На наступній гістограмі для третьої доби прогнозу (72 год.) ще більше розширення температурного діапазону помилок. Оскільки вихідні дані не були точними, на попередніх гістограмах диференційних розподілів фактичних і прогнозованих значень, ми можемо побачити, що і розподіли помилок не мають таку ж точність, як гістограма

для першої та другої доби. Не зважаючи на це, ми можемо побачити спільну закономірність у вигляді чітких та високих піків. Їх межі на гістограмі для третьої доби становили $-7 - 4^{\circ}\text{C}$, а на гістограмі для четвертої доби (96 год.) становили $-7 - 6^{\circ}\text{C}$. Окрім цього, на останній гістограмі, можна помітити невелике збільшення кількості прогнозів із помилкою у діапазоні $8-10^{\circ}\text{C}$. Зважаючи на всі описані вище проаналізовані дані, можна дійти до висновку, що високий рівень мінливості погодних умов із широким температурним діапазоном фактичних спостережень, може завадити створювати високоточні прогнози моделі WRF ARW v.4.0. Оскільки, порівнюючи із наведеними раніше місяцями, можна сказати, що прогнози для весняного періоду не мали точність на такому ж самому високому рівні. Найточнішим прогнозом моделі WRF ARE v.4.0 для травня у місті Рівне, став прогноз для першої доби (24 год.). Ці прогнози не можна назвати ідеальними, але з усіх проаналізованих даних, він єдиний виключив можливість наявності великих помилок у прогнозах, та мав найменший рівень розсіювання температурних даних. Найменш точним прогнозом моделі WRF ARW v.4.0 для травня у місті Рівне, став прогноз для четвертої доби прогнозу. Насправді, прогноз для третьої та четвертої доби були досить схожими, але розсіювання даних було набагато більшим на діаграмі розсіювання для четвертої доби, як і величина помилок для деяких прогнозів, теж іноді сягала доволі великих значень, саме у прогнозах для четвертої доби.

Для того, щоб створити порівняльну характеристику літнього періоду, необхідно взяти до уваги особливості погодного режиму на території міста Рівне. Оскільки червень характеризується мінливістю погоди із подекуди сильним підвищенням температури повітря, та іноді, значні зниження показників температури повітря, особливо вночі. Часті надходження опадів із грозами і «теплові хвилі». У липні, погода зазвичай стабілізується, акцентується в основному на високих температурах. Але, оскільки, це наступний місяць після червня, очікується зменшення розсіювання, але не його зникнення. Надходження дощів відбувається не так часто, як у червні. В

серпні місяці, погодний режим найбільш стабільний через літніх місяців. Температури у цьому місяці можуть іноді сягати високих значень, тому основне розсіювання даних очікується у мінімальному спектрі температур. Оскільки, зважаючи на погодний режим, якщо будуть спостерігатись нормальні погодні умови для місяців, серпень буде мати мінімальне розсіювання з-поміж усіх трьох літніх місяців.

Почати характеризувати літній період прогнозів моделі WRF ARW v.4.0, необхідно із характеризування мов та розподілу температур цього місяця. Початкове поняття про погодні умови цього місяця та міру розсіювання ми можемо побачити із діаграм розсіювання з Додатку А (рис. А.6) для червня. Ми бачимо на усіх чотирьох представлених діаграмах доволі високий рівень розсіювання. При чому, розсіювання на діаграмі для першої доби (24 год.) прогнозу відбувається переважно в довжину, а на останній діаграмі для четвертої доби (96 год.) розсіювання точок відбувається в ширину. Ми спостерігаємо, що на першій діаграмі найбільша кількість в ширину зосереджується посередині температурного діапазону, а ближче до початку та кінця цього діапазону, розсіювання переходить у повздовжне. Через це, є наявні багато точок, які перебувають далеко за межами основної площі покриття точками на діаграмі. попри це, точки які розсіюються в довжину, досі перебувають на лінії тренду діаграми. Розподіл даних для першої доби прогнозу очікується мати широкій діапазон, через повздовжне розсіювання, не зважаючи на те, що ці точки перебувають на лінії тренду. На наступній діаграмі для другої доби прогнозу (48 год.) спостерігається подібна ситуація. Але відмінним є те, що розсіювання в ширину посередині діапазону, відбувається значно у більшій мірі. Можна побачити точки, в самому центрі загального діапазону, які знаходяться далеко за межами лінії тренду діаграми. Також можна побачити декілька точок, які дублюються на першій, другій та третій діаграмах, та знаходяться найбільш далеко вниз від лінії тренду. В свою чергу, наявність цих точок означає, що декілька прогнозів будуть із завищеними очікуваними значеннями температури, аніж

спостережені. Повертаючись до діаграми для другої доби прогнозу, можна ще зауважити збільшення розсіювання в довжину, на обох краях діапазону температур. Втім, через те, що розсіювання є настільки великим, можна спостерігати появу пустих місць між точками. На діаграмі для третьої доби (72 год.), ми можемо побачити зміщення повздовжнього розсіювання у ширину. Тепер на діаграмі можна побачити менший загальний діапазон температур, через зникнення повздовжнього розширювання. Натомість, всі точки тепер перебувають у єдиній площі розсіювання, набуваючи вигляд «хмари точок». На цій діаграмі можна помітити зникнення чітких кореляцій, і появу більшої кількості даних, які знаходяться на великій відстані від лінії тренду. Ці закономірності проявляються із більшою мірою на діаграмі для четвертої доби (96 год.). Тут ми можемо побачити, що тепер іще більше точок знаходяться далеко за межами лінії тренду. Деякі точки настільки розсіяні, що між ними у сукупності з'являються великі прогалини пустого місця. Попри наявність декількох з них, які розташовані далеко вниз від дінії тренду, основний напрямок розсіювання можна прослідкувати на усіх чотирьох діаграмах розсіювання. Основна закономірність прогнозів у червні, судячи з того, що розсіювання відбувається вгору відносно лінії тренду діаграми, є заниження показників прогнозованих даних у порівнянні із фактичним спостереженнями. Це можна пояснити тим, що у червні спостерігалась погода із високими показниками температури, а знаючи характеристики моделі WRF ARW, ми можемо зробити висновок, що високі температури перешкоджають моделі ARW створювати прогнози температур безпомилково.

Для детальнішої інформації про розподіл температур та діапазонів, можна використати коробчасті діаграми із Додатку А (рис. Б.18) для червня. Коротко оглянувши усі чотири коробчасті діаграми, можна побачити підтвердження тенденції моделі WRF ARW v.4.0 при високих температурах, занижувати значення температур у своїх прогнозах. Оскільки на усіх чотирьох графіках помітно зміщення коробочок мактсимальної концентрації

кількості прогнозів, а також їх медіан в ліву сторону відносно «коробочки» та медіани максимальної концентрації даних спостережень. Також, показником сильного розсіювання прогнозованих даних у червні є те, що розміри коробочок діаграм прогнозів на усіх графіках є меншими за розміри коробочок діаграм спостережень. Також, слід зауважити, що усі розподіли фактичних даних мають однаково широкі діапазони, із коробочками максимальної концентрації даних однаково великих розмірів, та займаючи діапазон температур 14 – 22°C. На діаграмі для першої доби (24 год.) можна спостерігати великий діапазон прогнозованих даних, який співпадає із діапазоном фактичних даних. Через те, що ми спостерігали раніше наявність розсіювання у значній мірі, розміри «коробочки» максимальної концентрації кількості прогнозованих даних є меншою за розміри «коробочки» діаграми фактичних даних, оскільки, решта даних, є більш розсіяними по всій довжині діапазону температур. На наступній діаграмі можна спостерігати схожу закономірність. Розмір «коробочки» максимальної концентрації прогнозованих даних є трохи більшим та зміщений вліво у порівнянні із минулою діаграмою, але вона досі лишається меншою за коробочку максимальної концентрації фактичних даних. Загальний температурний діапазон лишається таким же великим, але він є зміщений вліво відносно діапазону фактичних температур. Такі великі діапазони прогнозованих даних, ми можемо пояснити, спостереженими раніше, повздовжнім розсіюванням із діаграм розсіювання. Оскільки дані розсіювались в довжину лінії тренду, то це допомогло із створенням діапазону температур прогнозів, який би ураховував правильно усі температури, які спостерігатимуться цього місяця. Оскільки повздовжнього розсіювання не було помітно на діаграмах для третьої та четвертої доби, на коробчастих діаграмах, ми можемо побачити зменшення діапазонів прогнозованих даних. На діаграмі для третьої доби (72 год.), діапазон температур прогнозів є не лише трохи зменшеним, але і зміщеним в ліву сторону відносно іншого діапазону, а розміри «коробочки» максимальної концентрації прогнозованих даних ще

більше зменшились у порівнянні із минулими діаграмами. На останній діаграмі для четвертої доби (96 год.) спостерігається сильне зменшення діапазону температур прогнозів, який виключає спостереження температур нижче 13°C, та вище 26°C. Коробочка максимальної концентрації даних прогнозів ще більше зменшується, досягаючи мінімальних розмірів у порівнянні з усіма діаграмами. Це вказує на наявність сильного розсіювання, оскільки чим менша коробочка максимальної концентрації, тим менш правильно модель зчитує основний діапазон температур і кількість спостережень у цьому діапазоні, розсіюючи ці дані неправильно по всій довжині температурного діапазону.

Детальніше про розподіли температур у червні та кількості прогнозів ми можемо дізнатись із гістограм з Додатку А (рис. А.30), а саме із диференційних розподілів прогнозованих та фактичних даних для червня. При першому огляді, одразу можна помітити спільну закономірність, яку вже було описано вище, а саме схильність моделі WRF ARE v.4.0 при високих температурах, занижувати їх значення у своїх прогнозах. Усі гістограми мають нормальний диференційний розподіл, із чітко вираженим піком кількості прогнозів, та плавному підйомі і спуску від піку до країв гістограм. Натомість, якщо ми поглянемо на гістограми для розподілу даних спостережень, ми можемо побачити, що на цих гістограмах, присутні два піки кількості спостережень. Обидва знаходяться у діапазонах температур 14 – 15°C, та 18 – 22°C. І другий пік є основним, хоч і різниця у висоті між ними є мінімальною. Неправильна інтерпретація розподілу температур є наслідком того, що модель занижувала температури із високими показниками. На гістограмі для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо побачити, що модель WRF ARW помилково створювала більшу кількість прогнозів із значеннями нижчих температур, тоді як, більша кількість спостережень була зосереджена на діапазонах вищих температур. Через це, єдиний пік максимальної кількості прогнозів має доволі широкий діапазон 13 – 18°C. Цей пік майже повністю охоплює і поєднує в собі обидва піки фактичних

температур. Через це, багато даних спостережень, які знаходяться у діапазоні вище 18°C , не є коректно оціненими, що ми і можемо побачити. Подібний розподіл можна спостерігати і на решті гістограм. Наприклад, гістограма для другої доби прогнозу (48 год.) показує нам такий самий розподіл, втім, він є плавнішим за рахунок того, що головний пік кількості прогнозів не є таким високим, тим самим заокруглюючи диференційний розподіл температур прогнозів. Також варто помітити, що через менший та зміщений загальний діапазон прогнозованих температур, ми бачимо, як деякі спостереження у діапазоні $28 - 30^{\circ}\text{C}$, і зовсім не були ураховані моделлю WRF ARW v.4.0. На наступній гістограмі для третьої доби прогнозу (72 год.), спостерігається більша концентрація даних прогнозів у діапазоні менших значень температур, а також, пік кількості прогнозів спостерігається більшим, і концентрується на значеннях у межах $14 - 19^{\circ}\text{C}$. Через зміщення діапазону прогнозованих температур, можна спостерігати помилку у прогнозах у межах діапазону $4 - 5^{\circ}\text{C}$, оскільки тут модель помилково прогнозувала наявність спостережень із такими значеннями. А також у межах $29 - 30^{\circ}\text{C}$, оскільки тут модель не передбачила появу спостережень із такими високими температурами. На останній гістограмі для четвертої доби (96 год.), через збільшення концентрації кількості прогнозів погоди моделі WRF ARW у діапазоні температур $14 - 20^{\circ}\text{C}$, що зрозуміло по збільшенню його висоти, зростає кількість спостережень, у діапазоні вищих температур, які не були коректно оцінені моделлю ARW. Через це, ми можемо припустити, наявність помилок з великими значеннями у діапазоні температур $25 - 30^{\circ}$. Оскільки у цьому діапазоні у прогнозах на четверту добу, спостерігається велика кількість спостережень, які випали із діапазону прогнозованих значень.

Краще зрозуміти розподіл помилок у червні для міста Рівне, можна за допомогою гістограм із Додатку А (рис. А.42), а саме диференційні розподіли помилок прогнозів для червня. Із гістограми для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо побачити доволі великий діапазон температурних помилок

прогнозів, та чіткий високий пік кількості прогнозів у межах $-5 - 2^{\circ}\text{C}$. Незважаючи на те, що максимальна кількість прогнозів припадає на різницю 0°C , не можна не ураховувати великий діапазон, із наявністю значних помилок. Втім, оскільки розподіл не є нормальним, а перехід - різкий, наявність помилок із великим значенням, можливо пояснити наявністю сильного розсіювання даних, як ми це могли спостерігати на діаграмах розсіювання. На наступній гістограмі для другої доби прогнозу (48 год.) диференційний розподіл помилок прогнозів стає плавнішим. Діапазон температур лишається таким самим, а на фоні зменшення висоти піку максимальної кількості прогнозів, збільшується його ріст у ширину, і тепер зростання піку відбувається у площині всього діапазону до 5°C . На гістограмі для третьої доби прогнозу (72 год.) спостерігається збільшення температурного діапазону, та розширення діапазону піку максимальної кількості прогнозів, із максимумом, що тепер припадає на різницю температур $-5 - 0^{\circ}\text{C}$. На останній гістограмі для четвертої доби (96 год.) ми можемо побачити, що діапазон температурних помилок досяг свого максимуму. При чому, відбувається приріст кількостей прогнозів із помилками у діапазоні різниці температур $5 - 10^{\circ}\text{C}$. А максимальна кількість прогнозів знаходиться у межах $-5 - 2^{\circ}\text{C}$.

Зважаючи на всі, описані вище показники характеристики опису погоди та точності прогнозів для червня місяця, ми можемо підсумувати, що припущення, які були озвучені на початку, стали правдивими і підтвердились. А ми змогли побачити, що значні підвищення температури можуть негативно впливати на точність прогнозів моделі WRF ARW. Найточнішим прогнозом температури повітря у червні для міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v. 4.0, можна назвати прогноз для першої доби (24 год.), оскільки тут спостерігались найменші показники розсіювання даних, правильно визначений загальний діапазон температури, який найближче відповідав дійсності при спостереженнях, а також найбільша кількість здійснених прогнозів мала помилку у діапазоні близько 0°C .

Найменш точним прогнозом температури у червні для міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v.4.0, варто назвати прогноз для четвертої доби (96 год.). Тут спостерігались найсильніші розсіювання даних, діапазон прогнозованих даних був найменшим та виключав з діапазону багато високих значень температури, а також, ми могли побачити збільшення наявності помилок з великим значенням у деяких спостереженнях.

Наступним місяцем для порівняння точності прогнозів є - липень. Оскільки для цього місяця очікується зменшення загального розсіювання даних, та загальне збільшення температури повітря, переконатись у цих припущеннях особливостей температурного режиму над територією міста Рівне, ми можемо, почавши із аналізу діаграм розсіювання з Додатку А (рис. А.7) для липня. Одразу з першого огляду, ми можемо побачити, що розсіювання даних є стало дійсно меншим у порівнянні із минулим місяцем, хоч і незначною мірою. На діаграмі для першої доби прогнозу (24 год.) ми можемо помітити, вже менший початковий рівень розсіювання, ніж це було на діаграмах попередніх місяців. Розсіювання відбувається повздовж лінії тренду діаграм, збільшуючи загальний діапазон температур. А розширення в ширину у більшій мірі відбувається у діапазоні вищих температур. Припустимо, що прогнози матимуть меншу точність у високих значеннях температури, оскільки, модель часто занижуватиме прогнозовані дані. Точки є орієнтованими до лінії тренду діаграми, хоча і можна спостерігати наявність декількох з них, які випали далеко за її межі. На наступній діаграмі для другої доби прогнозу (48 год.) ми спостерігаємо збільшення міри розсіювання вниз від лінії тренду діаграми у діапазоні високих температур. Також серед цих точок, можна побачити декілька точок, які випали далеко за межі діапазону, що сигналізує про наявність значних помилок прогнозах для цих даних. На діаграмі для третьої доби прогнозу (72 год.) спостерігається незначне збільшення загального розсіювання точок по всій площині діаграми. Притаманне раніше повздовжне розсіювання точок у напрямку лінії тренду діаграми, більше не простежується у такій мірі, натомість

зростає величина розсіювання в ширину, тому більша кількість точок розташовується в невеликому діапазоні та на відносно великій відстані від лінії тренду. Також спостерігається збереження закономірності випадіння декількох точок за межі площини розсіювання більшості точок. На останній діаграмі для четвертої доби (96 год.) ми бачимо максимальну величину розсіювання точок з-поміж усіх діаграм для липня. Загальний розподіл точок на діаграмі приймає вигляд, вже звичної для діаграм четвертої доби, «хмари точок». Дані на діаграмі розсіяні в ширину навколо лінії тренду діаграми, через це відбувається поява пустих місць між точками, особливо на межі площини загального розсіювання точок діаграми. Чітку особливість кореляції важко виділити на цій діаграмі оскільки розсіювання присутнє по обидві сторони від лінії, та простежує лише напрямок тренду діаграми.

Детальніше розглянути розподіл діапазонів та температур, ми можемо завдяки коробчастим діаграмам із Додатку А (рис. А.19) для липня. Одразу ми спостерігаємо, як повздовжнє розсіювання із минулих діаграм вплинуло на величину діапазону прогнозованих показників. Завдяки цьому, діапазони є великими, та максимально наближеними до дійсних, із наявністю мінімальної кількості спостережень, які би випадали і не були враховані у цьому діапазоні температур прогнозів. Основний діапазон температур максимальної кількості спостережень припадає на 17 – 24°C. Через особливість моделі WRF ARW v.4.0 занижувати показники, при спостереженнях високих температур, ми можемо спостерігати також, як на кожній діаграмі, межі коробочок максимальної концентрації прогнозованих даних, а також їх медіани, є зміщеними вліво відносно коробочок максимальної концентрації фактичних даних, і їх медіан. Також варто відзначити спільну характеристику розміру коробочок максимальної концентрації прогнозованих даних. Вони є меншими на всіх діаграмах, ніж розміри коробочок фактичних спостережень. Це в свою чергу, є показником того, що модель WRF ARW була схильна до збільшення розсіювання даних прогнозів по всьому температурному діапазону, помилково недооцінюючи

дійсну величину концентрації температурних величин у основному діапазоні. Діаграма для першої (24 год.) та другої (48 год.) є схожими між собою. Втім, варто виділити, що саме на першій діаграмі, діапазон прогнозованих величин, найбільше співпадає із діапазоном фактичних температур і найбільше відповідає дійсності. На наступній діаграмі, цей діапазон зменшується, залишаючи деякі значення температур вище 32°C, поза межами діапазону прогнозованих значень. На діаграмі для третьої доби (72 год.) ми можемо спостерігати збільшення діапазону, що зменшує кількість можливих спостережень, які будуть знаходитись поза межами діапазону прогнозованих температур. Але доволі маленький розмір «коробочки» максимальної концентрації прогнозованих значень, нам вказує на збільшення загального розсіювання на третю добу прогнозу. На останній діаграмі для четвертої доби (96 год.) спостерігається зменшення розміру діапазону температур прогнозів, що, збільшує кількість спостережень зі значеннями вище 32°C, перебувати за межами діапазону прогнозованих значень.

Оскільки коробчасті діаграми дають лише поверхнєве поняття про розподіли температур та діапазони значень, детальніше це питання ми можемо за допомогою гістограм із Додатку А (рис. А.31). При детальному огляді, ми можемо побачити, що на кожній гістограмі, кількість спостережень у діапазоні високих значень температури є недооціненими моделлю WRF ARW v.4.0, оскільки модель фокусувалась, в основному, на більшій кількості прогнозів для температур із нижчими значеннями. В загалом, всі гістограми фактичних спостережень мають нормальний диференційний розподіл, ми бачимо наявність одного чіткого піку кількості спостережень, а також одного додаткового, який є менш вираженим. Їх температурні межі перебувають у діапазонах 20 – 22°C, та 16 – 17°C, відповідно. Розподіл даних спостережень є плавним і займає площу всього діапазону температур, із плавним підйомом до піку кількості спостережень, та спуском після нього. Натомість, гістограми прогнозованих даних, мають лише один пік максимальної кількості прогнозів і їх температурний діапазон

змінюється на кожній гістограмі. На розподілі для першої доби, спостерігається різке зростання кількостей прогнозів, та їх максимум у діапазоні значень $16 - 20^{\circ}\text{C}$. Через те, що більшість прогнозів була сконцентрована саме у цьому діапазоні температур, спостереження поза межами цього діапазону не були прораховані коректно, що ми і можемо побачити на даній гістограмі. На розподілі для другої доби прогнозу (48 год.) спостерігається зменшення висоти піку максимальної кількості прогнозів, та зміщення його температурного діапазону до меж $18 - 22^{\circ}\text{C}$. Через продовження наявності закономірності моделі концентрувати кількість прогнозів для температур із меншими значеннями, кількість спостережень, які мають значення вище 22°C , лишаються оцінені неправильно. Наступна гістограма для третьої доби прогнозу (72 год.) показує зміщення діапазону прогнозованих температур вліво, що означає неправильне прогнозування деяких показників із значеннями нижче 10°C , а також не урахування наявності деяких показників зі значеннями вище 30°C . На даній гістограмі, пік максимальної кількості прогнозів перебуває у межах діапазону $16 - 20^{\circ}\text{C}$, через що, не було правильно передбачень, що найбільше спостережень припаде на температури більше 20°C . На останній гістограмі для четвертої доби прогнозу (96 год.) ми можемо спостерігати схожі закономірності, як і на попередніх гістограмах, оскільки діапазон прогнозованих даних лишається так само зміщеним. Втім, пік максимальної кількості прогнозів не є таким високим, і збільшується в ширину, маючи діапазон найбільшої кількості значень у межах $16 - 24^{\circ}\text{C}$. Через те, що модель більше своїх прогнозів сконцентрувала саме у цьому діапазоні, це допомогло правильно оцінити кількість спостережень для даних температур, натомість, спостереження, які мали значення вище 24°C , матимуть іще більшу помилку прогнозів, оскільки моделлю було створено менше прогнозів для цих температур.

Краще зрозуміти величину помилок прогнозів та їх розподіл ми зможемо проаналізувавши гістограми із Додатку А (рис. А.43), а саме

диференційні розподіли помилок прогнозів для липня. Попри те, що гістограма розподілу для першої доби (24 год.) має різкий перехід, та великий максимум кількості прогнозів зі значеннями $-3 - 3^{\circ}\text{C}$, можна також побачити, що на цій діаграмі присутній найбільший діапазон, і наявність декількох прогнозів із значними помилками близько 13°C . Ці декілька прогнозів із такою великою помилкою прослідковуються і на гістограмі для другої доби, як і на гістограмі для третьої доби. І, якщо брати до уваги, що ідентична ситуація спостерігалась і на діаграмах розсіювання, де можна було побачити декілька точок, які випали далеко за межі загального діапазону точок, то можна припустити, що ці декілька прогнозів із доволі значною помилкою, це і є ті точки на діаграмах розсіювання. Якщо не брати до уваги цей недолік у точності прогнозів, то можна побачити, що всі три діаграми мають схожий вигляд. Втім, зі збільшенням доби прогнозу, висока піку стає меншою. Коли на першу добу, близько 125 прогнозів мали помилку $-3 - 0^{\circ}\text{C}$, то на гістограмі для другої доби пік мав висоту близько 105 прогнозів із такою ж помилкою, а на гістограмі для третьої доби, висота піку склала вже близько 90 прогнозів зі значенням помилки, як на попередніх гістограмах. При цьому, можна побачити, що розподіл стає плавнішим, за рахунок розсіювання даних. На гістограмі для четвертої доби (96 год.) пік стає іще нижчим, і має висоту лише близько 50 прогнозів у ширину осу діапазоні значень $-3 - 3^{\circ}\text{C}$. Також на останній діаграмі збільшується діапазон у сторону від'ємних температур, і можна спостерігати наявність деяких прогнозів із помилками до -10°C .

Приймаючи до уваги все, описане вище, під час аналізу точності прогнозів за липень, ми можемо зробити висновок, що невелике зменшення розсіювання даних із припущень про особливості погодних умов, було підтверджене, як і труднощі моделі WRF ARW із прогнозуванням температур, які знаходяться у діапазоні високих значень. Найточнішим прогнозом для липня над територією міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v.4.0 став прогноз для першої доби (24 год.). Попри наявність декількох

прогнозів, які мають значення дуже великої помилки, це не впливає на факт наявності найбільшої кількості прогнозів з-поміж інших прогнозів у цьому місяці, із найменшою величиною помилки, а також, найменшу величину розсіювання даних для цілого місяця. Також варто взяти до уваги найбільш правдивий діапазон прогнозованих температур, який був найкраще наближеним до діапазону фактичних показників. Найменш точним прогнозом у липні для міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v.4.0, став прогноз для четвертої доби (96 год.). Незважаючи на те, що у прогнозах для другої та третьої доби, ми могли спостерігати ті декілька прогнозів із значною помилкою, загальна величина розсіювання даних є більшою саме у прогнозах для четвертої доби. Також, через розсіювання, тут присутня більша кількість спостережень у ширшому діапазоні помилок прогнозів, а також, сама межа температурних величин, стала найменшою у порівнянні із рештою діаграм для цього місяця.

Завершити порівняльну характеристику для літнього періоду із аналізом останнього місяця літа - серпня. Як було сказано вище, у серпні притаманна стабілізація погодних умов, із сильним прогріванням температури вдень, та її охолодженням вночі. Почати детальніший опис порівняння прогнозів моделі WRF ARW v.4.0 із фактичними спостереженнями у цьому місяці, ми можемо із діаграм розсіювання з Додатку А (рис. А.8) для серпня. Діаграма розсіювання для першої доби прогнозу (24 год.) нам показує мінімальний рівень розсіювання точок, що підтверджує, згадану вище, схильність погодного режиму у серпні до нормалізації. Також, ми можемо передбачити, що у серпні спостерігатимуться та прогнозуватимуться іноді високі значення температури, так само як і низькі, оскільки є розсіювання точок вздовж лінії тренду діаграми. Так як більшість точок знаходяться безпосередньо на лінії тренду або поблизу на невеликій відстані від неї, можна стверджувати, що прогноз для першої доби матиме високу точність. Попри це, тут можна спостерігати декілька точок, які випали за межі діапазону температур

діаграми і знаходяться далеко за межами тренду. На наступній діаграмі для другої доби прогнозу (48 год.) спостерігається збільшення міри розсіювання по обидві сторони від лінії тренду діаграми. Незважаючи на те, що найбільша концентрація точок, все ще знаходиться на невеликій відстані від лінії тренду, чи безпосередньо на ній, спостерігається збільшення кількості точок, які знаходяться далеко від інших точок, і тим самим, випадають із середнього діапазону температур. Діаграма для третьої доби (72 год.) показує іще більше більше розсіювання точок по всій площі діаграми. Тепер ми можемо побачити певну закономірність у розподілі точок. Збільшення розсіювання відбувається у діапазоні нижчих температур, а у діапазоні вищих температур, розсіювання зменшується, хоч і незначною мірою. На останній діаграмі для четвертої доби прогнозу (96 год.) міра розсіювання точок досягає свого максимуму. Тепер дані розсіюються в більшому обсязі в ширину, і слідує лише основному напрямку лінії тренду діаграми, не взаємодіючи з нею напряду. Також ми можемо спостерігати, що розсіювання відбувається більшою мірою у центральному діапазоні температур, із чого можна зробити висновок, що диференційний розподіл буде плавним, а кількість прогнозів із середніми величинами помилок - буде найбільшою саме на четверту добу прогнозу.

Краще розібратись у розподілі температур та діапазонів для серпня, нам допоможуть коробчасті діаграми із Додатку А (рис. А.20). Із усіх представлених діаграм, ми можемо побачити, наскільки схожі усі чотири діаграми. Повздовжне розсіювання по лінії тренду, дозволило правильно визначити діапазон, який би ідеально співпадав із діапазоном фактичних температур. Також, необхідно згадати, що максимальні концентрації даних спостережень перебувають у діапазоні 17 – 25°C. Для того, щоб побачити чим справді відрізняються ці діаграми, необхідно провести більш детальний аналіз кожної з них. Отже, на діаграмі для першої доби ми бачимо діапазони прогнозованих та фактичних температур, які ідеально співпадають один з одним. Коробочка максимальної концентрації прогнозованих даних є трохи

більшою за коробочку даних спостережень. Через це, медіани діаграм майже співпадають, але верхня медіана знаходиться більше вліво відносно нижньої. Діаграма для другої доби прогнозу показує нам невелике зменшення діапазону прогнозованих температур зі сторони менших показників. Втім, розміри обох коробочок максимальної концентрації даних на цій діаграмі є ідентичними, як і положення їх медіан. На наступній діаграмі для третьої доби (72 год.) ми спостерігаємо ще більше зменшення діапазону прогнозованих температур зі сторони менших показників. Попри це, розмір «коробочки» максимальної концентрації даних прогнозів на цій діаграмі є більшим за коробочку максимальної концентрації даних спостережень. Що в свою чергу може означати підвищення розсіювання даних, оскільки зі збільшенням основного діапазону температур, збільшується і кількість прогнозів, які будуть більш розсіяними по всій площі температурного діапазону. Через це, верхня медіана є дещо зміщеною вправо відносно нижньої медіани. На останній діаграмі для четвертої доби (96 год.) ми бачимо розширення діапазону прогнозованих температур, та збільшення розмірів «коробочки» максимальної концентрації даних прогнозів. Це вказує на сильне розсіювання даних по всій площині діапазону на четверту добу. Не зважаючи на те, що верхня коробочка є значно більшою за нижню, їх медіани є лише трохи зміщеними.

Зважаючи на те, що коробчасті діаграми нам допомогли розглянути розподіл температур детальніше, їх схожість завадила краще деталізувати опис. Тому, для кращого розуміння розподілу даних, розглянемо гістограми з Додатку А (рис. А.32), а саме диференційні розподіли прогнозованих та фактичних показників для серпня. Тут ми можемо побачити, що точність ускладнюється через вихідні дані для аналізу, оскільки, як ми можемо помітити, що вихідні дані моделі WRF ARW v.4.0, так і вихідні дані зі спостережень для цього місяця є заокругленими і через це, ускладнюють аналіз точності із більшою точністю. Але, зважаючи навіть на цей факт, окремі закономірності та особливості все ж можливо виділити. Гістограма

для першої доби прогнозу (24 год.) описує нормальний диференційний розподіл, втім, через збільшення розсіяності кількості прогнозів у середніх діапазонах, ми можемо помітити, що величина піку та його діапазон не були передбачені безпомилково. Коли максимум кількості спостережень припадає на діапазон температур $20 - 25^{\circ}\text{C}$, то максимум кількості прогнозів перебуває у межах $15 - 20^{\circ}\text{C}$. На наступній гістограмі для другої доби (48 год.) ми можемо спостерігати дещо іншу характеристику. Тут ми можемо побачити, як модель ARW створювала більшу кількість прогнозів температури у діапазонах значно вищих значень температур, ніж спостерігалось для цього місяця. Коли максимальна кількість спостережень на другій діаграмі припала на діапазон температур $15 - 25^{\circ}\text{C}$, то максимум кількості прогнозів знаходиться у межах $15 - 20^{\circ}\text{C}$. Через більшу кількість прогнозів у вищих діапазонах температур, спостерігається збільшення кількості неправильно оцінених кількостей прогнозів для діапазонів менших значень. На гістограмі для третьої доби (72 год.) можна спостерігати схожу ситуацію, як на попередній гістограмі. Модель WRF ARW помилково створювала більшу кількість прогнозів температури із високими значеннями, ніж це виявилось згодом при фактичних спостереженнях, тому помилково недооцінювала кількість прогнозів із меншими значеннями температури. Основний діапазон максимальної кількості спостережень перебуває у значеннях $15 - 20^{\circ}\text{C}$, а основний діапазон кількості прогнозів перебуває у межах $15 - 25^{\circ}\text{C}$, що також, вказує на збільшення розсіювання прогнозованих даних. На останній гістограмі для четвертої доби прогнозу (96 год.) спостерігається майже ідеальне повторення розподілів із мінімальною різницею між розподілом прогнозованих та фактичних значень. При чому, величина кількості прогнозів є меншою за величину кількості спостережень для температур до 30°C , на декілька одиниць, оскільки для температур вище 30°C , модель ARW помилково створила збільшення кількості прогнозів, порушуючи ідеальний диференційний розподіл.

Маючи детальніший опис диференційних розподілів, тепер ми можемо описати кількість та величину помилок кожної доби прогнозу, із гістограм з Додатку А (рис. А.44) для серпня. На першій діаграмі (24 год.) одразу варто звернути увагу на доволі вузький температурний діапазон помилок прогнозів, різкий та високий пік кількостей прогнозів у діапазоні значень -3 – 3°C . Попри відносно широкий діапазон, сумарна висота цього діапазону становить 200 прогнозів моделі ARW. На наступній гістограмі ми можемо побачити розширення загального діапазону помилок прогнозів, та концентрації максимальної кількості прогнозів (120) у діапазоні температур 0 – 3°C . Зменшення висоти максимуму у порівнянні з минулою гістограмою говорить про збільшення розсіювання даних, та ймовірності прогнозів із більшими помилками. Гістограми для другої та третьої доби прогнозу є схожими, єдиною відмінністю між ними є те, що на другій гістограмі можна спостерігати появу помилки величиною 10°C , а на третій гістограмі, ця помилка зникає, з'являється натомість помилка -7 – -9°C . Тобто, ці розподіли є фактично ідентичними, якщо не брати до уваги декілька винятків і мінімальних відмінностей. Гістограма для четвертої доби прогнозу (96 год.) натомість сильно відрізняється від інших. Диференційний розподіл є плавним, максимальна кількість прогнозів сягає лише 95 прогнозів із помилками у діапазоні температур 0 – 3°C . Діапазон температурних помилок є таким самим, як на минулій гістограмі, втім через плавніший хід розподілу, можна помітити збільшення кількості прогнозів у діапазоні великих значень помилок.

Аналізуючи все, описане вище, ми можемо дійти до висновку, що нормальний погодний режим, який притаманний для серпня над територією міста Рівне, зберігся і в 2023 році, без настання незвичайних розподілів. У цьому місяці спостерігались високі температури, але модель WRF ARW v.4.0 мала схильність до створення більшої кількості прогнозів із високими значеннями температури, аніж це фіксувалось при фактичних спостереженнях. Найбільш точним прогнозом температури повітря у серпні

для міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v.4.0, став прогноз для першої доби (24 год.). Ми могли спостерігати найменший рівень розсіювання даних, найточніші загальні температурні діапазони, та найбільшу кількість прогнозів із мінімальною величиною помилок. Найменш точним прогнозом у серпні для міста Рівне за допомогою моделі WRF ARW v.4.0 можна назвати прогноз для четвертої доби (96 год.). Тут спостерігались найбільше розсіювання даних, найменш точний загальний діапазон температур прогнозів, а також, найбільш плавний розподіл температур помилок із найбільшою кількістю прогнозів, які містили у собі помилки із середнім та великим значенням.

Кількісні критерії (ME, MAE та RMSE) для березня-серпня наведені у Додтаку Б.

ВИСНОВКИ

Дослідження точності прогнозів температури повітря приземного шару над територією міста Рівне за допомогою мешомасштабної чисельної моделі WRF ARW v.4.0 грає велику роль у контексті вдосконалення досліджень авіаційної метеорології, а також використання результатів досліджень для покращення роботи аеропортів, на прикладі аеропорту міста Рівне, для забезпечення більшої ефективності завчасних передбачень, підготування та реагування на надходження небезпечних метеорологічних умов, з метою мінімізації можливих негативних наслідків негод.

У ході дослідження було виявлено наявність кореляції між особливостями погодних умов та їх впливом на точність прогнозів температури повітря. Таким чином, було з'ясовано, що під час сезонів, яким притаманна значна мінливість погодних умов, це напряду впливає на зменшення точності моделювання прогнозів. Це відбувалось за рахунок збільшення діапазонів фактичних температур, та значень, які опинялись за межами максимальних концентрацій спостережень, з котрими, модель WRF ARW v.4.0 мала труднощі у коректному прогнозуванні. Через особливості таких погодних умов, спостерігалось найбільше розсіювання у перехідні сезони, як осінній та весняний. Також, було виявлено кореляцію між спостереженням нетипових чи екстремальних погодних умов, з якими модель WRF ARW v.4.0 теж мала труднощі урахування у своїх прогнозах з мінімальними помилками. Таким чином, дуже високі фактичні спостереження температури повітря навесні та влітку, завжди мали помилки прогнозів. А прогнозовані значення температури для цього періоду мали нижчі показники, ніж фактичні для цього періоду. Те ж саме стосується і дуже низьких зафіксованих показників температури повітря. Значення прогнозованих температур були більшими, ніж фактичні для цього періоду.

Загалом, через виконаний аналіз, ми змогли побачити схильність моделі до завищення прогнозованих показників. Тобто, часто, спостерігались показники, які були нижчими, за прогнозовані, на 1 – 3°C. Також це спостерігалось на коробчастих діаграмах у вигляді зміщеному положенні медіани діаграм прогнозованих показників вправо, відносно медіани діаграм фактичних температур.

Основним результатом дослідження, став висновок стосовно точності прогнозів для першої доби (24 год.), другої доби (24 год.) третьої доби (72 год.) та четвертої доби (96 год.). Згідно всім описаним діаграмам розсіювання та диференційним розподілам температур та величин помилок, найточнішими прогнозами кожного сезону, стали 24-годинні. Вони мали найменше розсіювання даних, найбільшу концентрацію точок навколо лінії тренду на діаграмах розсіювання. Їх температурні діапазони найбільше відповідали дійсним діапазонам, а величина помилок завжди мала найменший температурний діапазон, із найбільшою кількістю прогнозів у межах 0°C, і різким розподілом. Найменш точними прогнозами кожного сезону, стали 96-годинні. Їх діаграми розсіювання завжди мали більшу міру розкиду точок. «Коробочки» максимальної концентрації даних були найменшими у порівнянні з прогнозами для інших діб, а загальні діапазони часто були меншими, ніж фактичні, що в свою чергу означає наявність деяких значень температури повітря поза межами цього діапазону, яку модель WRF ARW v.4.0 прогнозуватиме на четверту добу (96 год.) із значною помилкою. Діапазон температурних помилок на гістограмах диференційних розподілів величин помилок на четверту добу завжди був найбільшим, а сам розподіл мав найбільш плавний хід із найменшою величиною кількості прогнозів у межах помилок 0°C, якщо порівнювати із даними інших діб.

Здійснені дослідження допомогли дати краще уявлення про чисельне моделювання у метеорології та відкрити можливості до удосконалення цієї галузі і ознайомитись із факторами, які можуть становити значний вплив на

кінцевий результат досліджень. Окрім цього, подібні дослідження в майбутньому можуть допомогти у сфері планування роботи аеропортів, та плануванні польотів, оскільки ця сфера дуже залежить від завчасності і точності прогнозів. Подальші дослідження можуть допомогти оптимізувати роботу та зменшити ризик негативних наслідків через спостереження екстремальних погодних умов, завдяки програмному забезпеченню мезомасштабної чисельної моделі WRF ARW v.4.0 чи подібних, і своєчасному виявленню цих умов у прогнозах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Рівненській області у 2021 році, Департамент екології та природних ресурсів Рівненської облдержадміністрації, 2022 , С.3-54.
2. Дорошенко А.Ю, Шпиг В.М., Кушніренко В.М., Застосування машинного навчання для уточнення чисельних метеорологічних прогнозів, Методи машинного навчання, Проблеми програмування. Спец. випуск, №2-3, 2020, С.375-383.
3. Ковалець І.В., Халченков О.В, Ануліч С.М, Удовенко О.І., Оперативне прогнозування метеорологічних полів для систем попередження паводків у Карпатах, Математичні машини і системи - №3, 2015, С.118-125.
4. Кубай Д., Горбаль А., Відкритий посібник з відкритих даних, Український центр суспільних даних, 2016
5. Прусов В.А., Сніжко С.І, Математичне моделювання атмосферних процесів, КНУ і.Т.Г.Шевченка, Ніка-Центр, 2005, 496 ст.
6. Шпиг В.І, Скриник О., Фізика атмосфери та чисельні методи метеорологічного прогнозування, №1 - Метеорологія, Гідрологія, Моніторинг довкілля, 2022, С.5-17.
7. Шпиг В.І., Точність прогнозу термодинамічних метеорологічних величин і опадів в умовах гірської місцевості за гідростатичною та не гідростатичною чисельними атмосферними мезомасштабними моделями, Український гідрометеорологічний інститут, Фізична географія та геоморфологія.– 2014.– Випуск 4(76), С.87-103.
8. Ahrens C.D., Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere, Cengage Learning EMEA, 2008, 244-250pp.
9. Barker D., The WRF versitional data assimilation system (WRF-Var), WRF/MM5 Users' Workshop, MMM Division, NCAR, Boulder, 2007, 4p.

10. Bernadet L., Wolf J. and others, Comparison between WRF-ARW and WRF-NMM objective forecast verification scores, NOAA Earth System Research lab., Boulder,CO, 2008, 5p.
11. Biswas M.K., Carson L., Newman K., Stark D., Community HWRF Users' Guide v4.0a, Development Testbed Center, 2018, 162 pp.
12. Didkivska S., Ievdin Y., Kovalets I., Software to convert WRF output to HIRLAM-GRIB format to enable running of MATCH NERIS-TP(WP4)-(13)-01, Technical description and user guide,Ukrainian Centre for environmental and water projects, 2013, 17p.
13. Holton J.R., An introduction to dynamic meteorology, 4th Ed.,Vol.1, Elsevier Science, Academic press, 2004, 480-490pp.
14. Jacobson M.Z., Fundamentals of Atmospheric modeling, Cambridge University Press, 2005, 138-143pp.
15. Jordan Dr., Powers G., The weather research and forecasting model, American meteorological society, NOAA/NWS/ National Centers for Environmental Prediction, Maryland, 2017, 1717-1737pp.
16. Jucker M., Lane T.P., Vincent C.L., Webster S., Louf V, Locally forced convection in subkilometre-scale simulations with the Unified Model and WRF, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol.146(732), 2020, 3450-3465pp.
17. Lynch P., The origins of computer weather prediction and climate modeling, Journal of computational physics, vol.227(7), 2008, 3431-3444pp.
18. Lynch P., Weather prediction by Numerical Process. The emergence of numerical weather prediction, Cambridge University Press, 2006, 1-27pp.
19. Pielke R.A, Mesoscale Meteorological Modeling, University of Colorado, Academic press, 2002, 48-49pp, 65p., 285-287pp.
20. Pirnach G., Belyi T., Shpyg V., Dudar S., Heavy Precipitation in eastern Carpathian and microphysical mechanisms of their formation, Ukrainian

- Hydrometeorological Institute, Ukraine Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Kyiv, 2013, 17p.
21. Sinha, Sujit, Precision Meteorological Prediction Employing A Data-Driven, Adaptive, Real-Time (DART) Approach, Theses and Dissertations – Mechanical Engineering, University of Kentucky, 2023, 218p.
 22. Skamarock W.C., Evaluating Mesoscale NWP Models Using Kinetic Energy Spectra, NACR, Boulder, 2004, 3019-3032pp.
 23. Skamarock W.C, Klemp J.B. and others, A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4.3 , NCAR, Boulder, 2021, 128p.
 24. Stensrud D.J., Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models, Cambridge University press, 2007, 56p.
 25. Strikwerda J.C., Finite difference schemes and partial differential equations, Other Titles In Applied Mathematics, 2nd Ed., SIAM, 2004, 160-170pp.
 26. Thompson P.D., Gates W.L., A test of numerical prediction methods based on the barotropic and two-parameter baroclinic models, Journal of Meteorology, vol.13(2), 1956, 127-141pp.
 27. Warner T.T, Numerical weather and climate prediction, NCAR, Cambridge university press, Boulder, 2010, 257-259pp.
 28. BYRD polar and climate research center, Polar Meteorology Group, Ohio, 2024. URL: <https://polarmet.osu.edu/PWRF/>
 29. HWT 2009 NOAA spring experiment objective verification, Development Testbed Center, Boulder, 2015. URL: <https://web.archive.org/web/20150218185729/https://dtcenter.org/plots/hwt/index.php>
 30. University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, 2024. URL: <https://www.mmm.ucar.edu/models/wrf>
 31. WRF Users Page, UCAR, Boulder, 2024. URL: <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>

ДОДАТОК А

Діаграми розсіювання, коробчасті діаграми, диференційні розподіли прогнозованих і фактичних значень та помилок прогнозів для м. Рівне у різні місяці 2023 р.

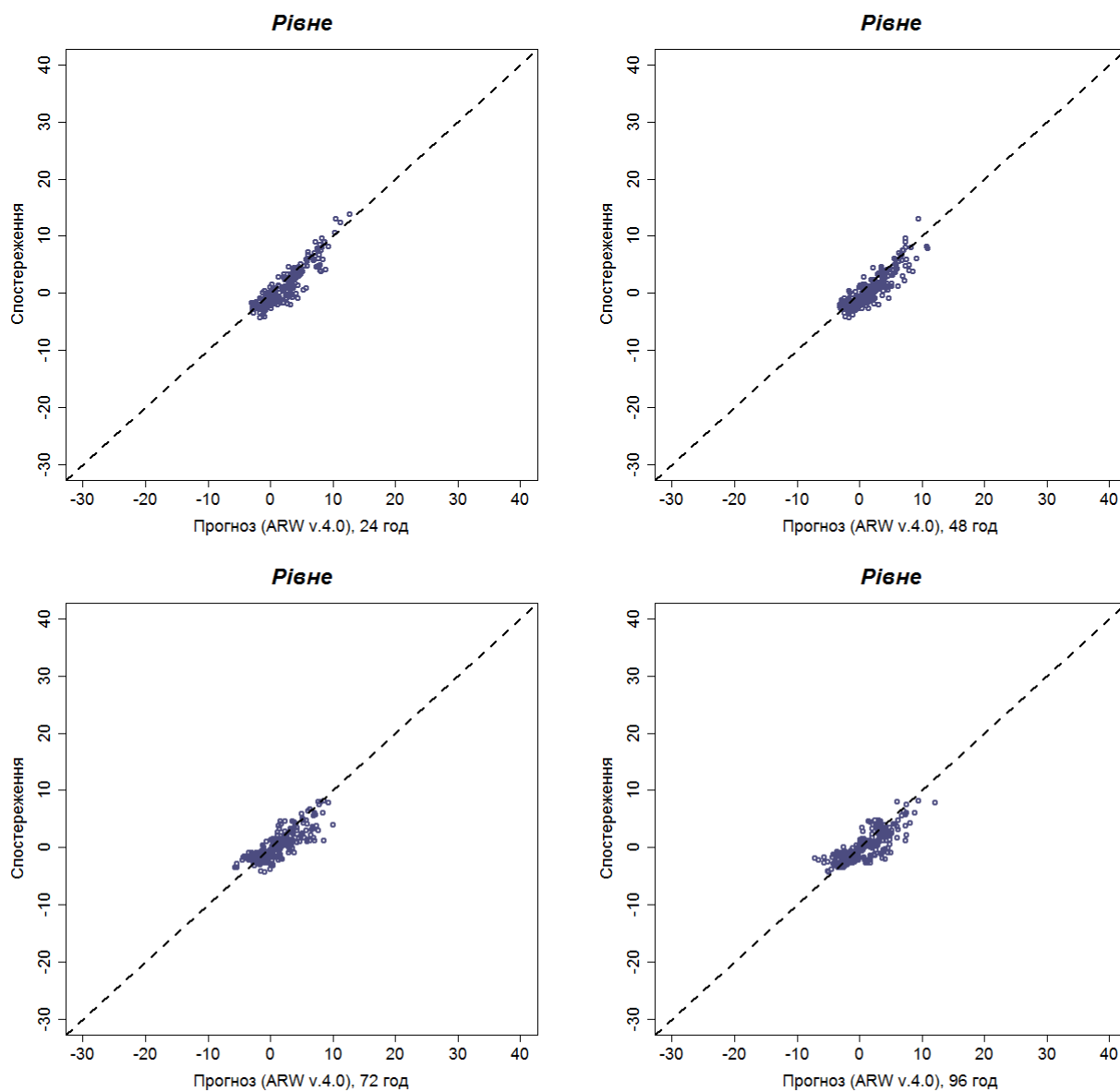


Рис. А.1 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, січень 2023 р.

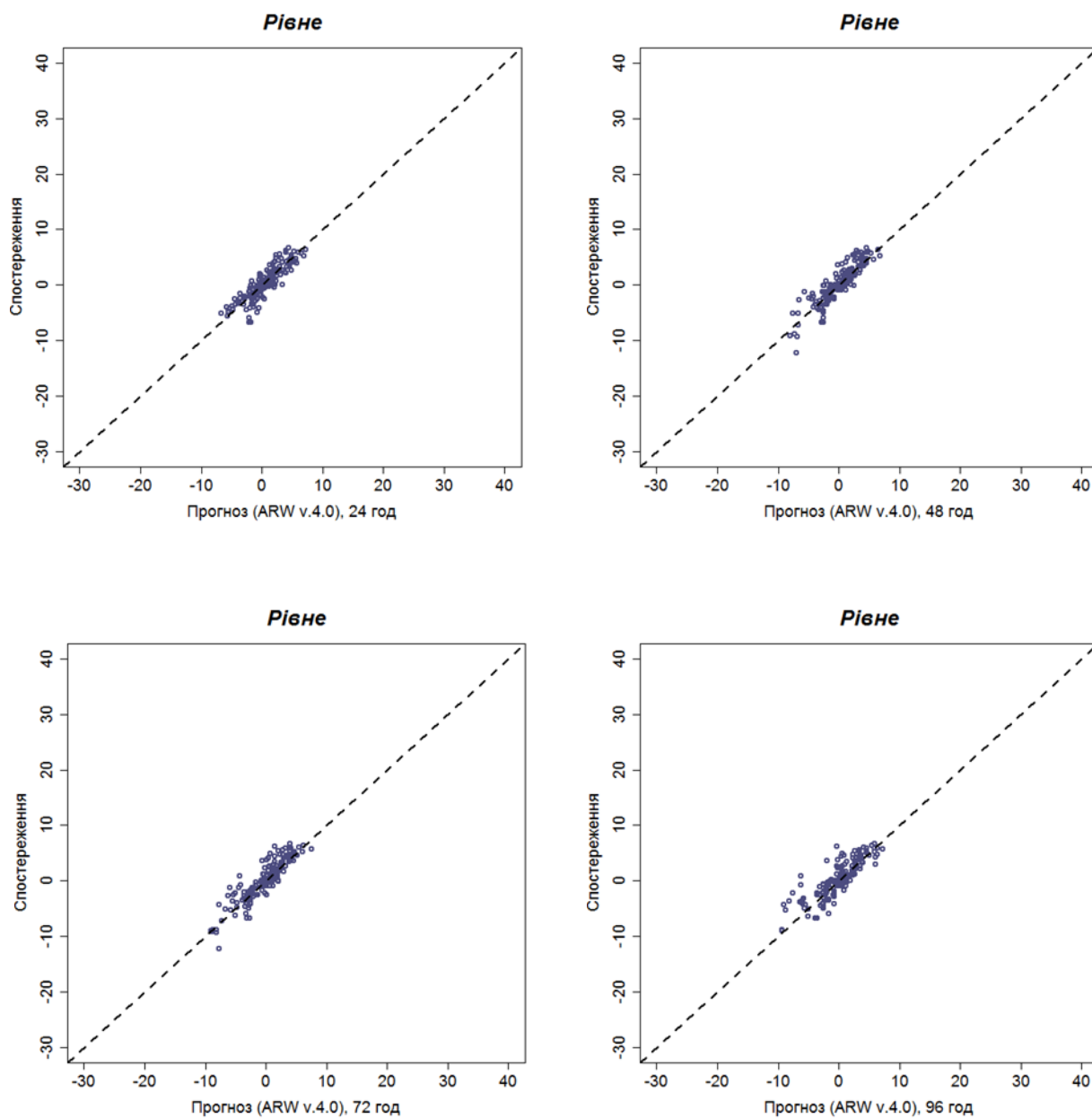


Рис. А.2 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, лютий 2023 р.

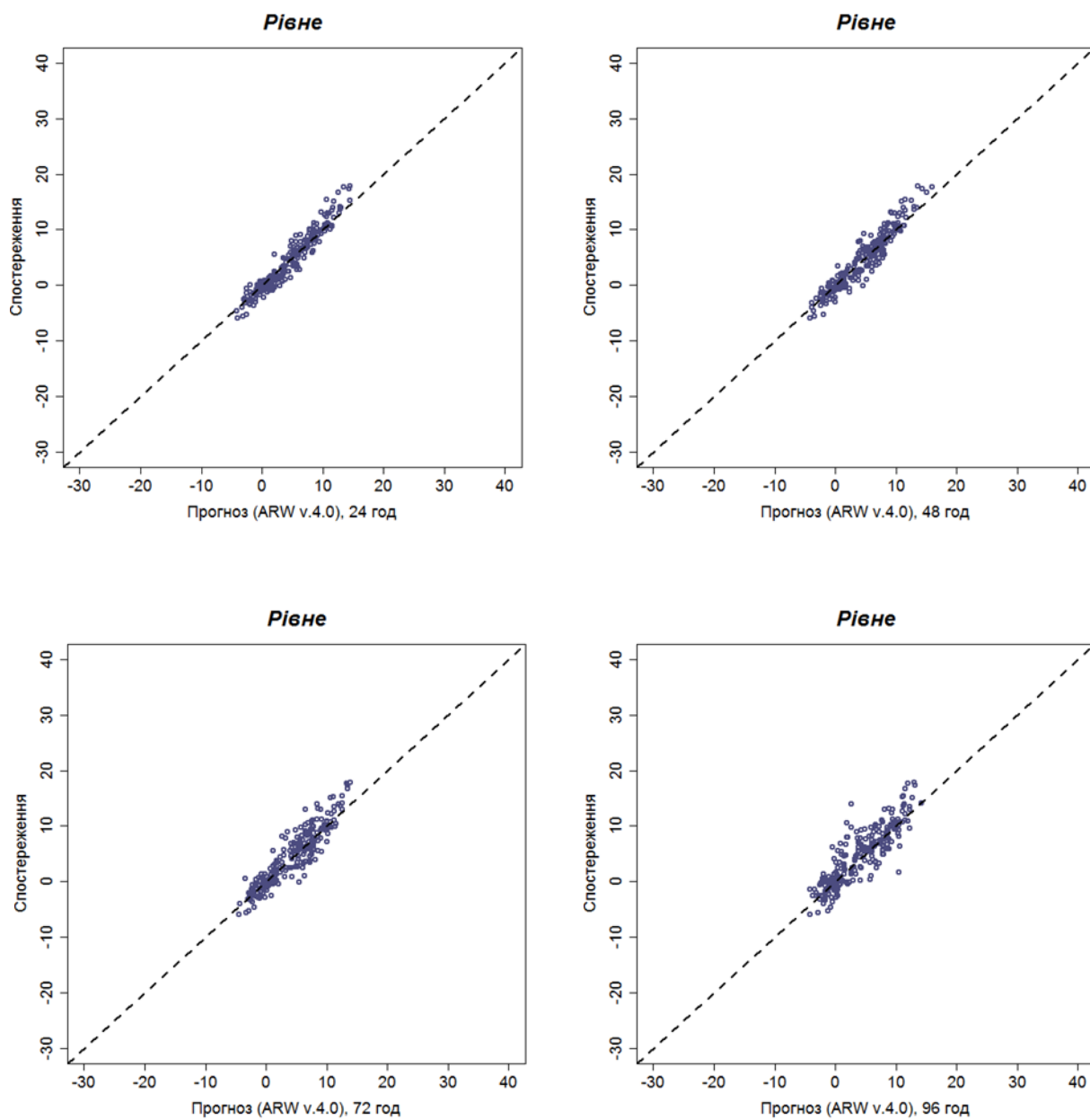


Рис. А.3 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, березень 2023 р.

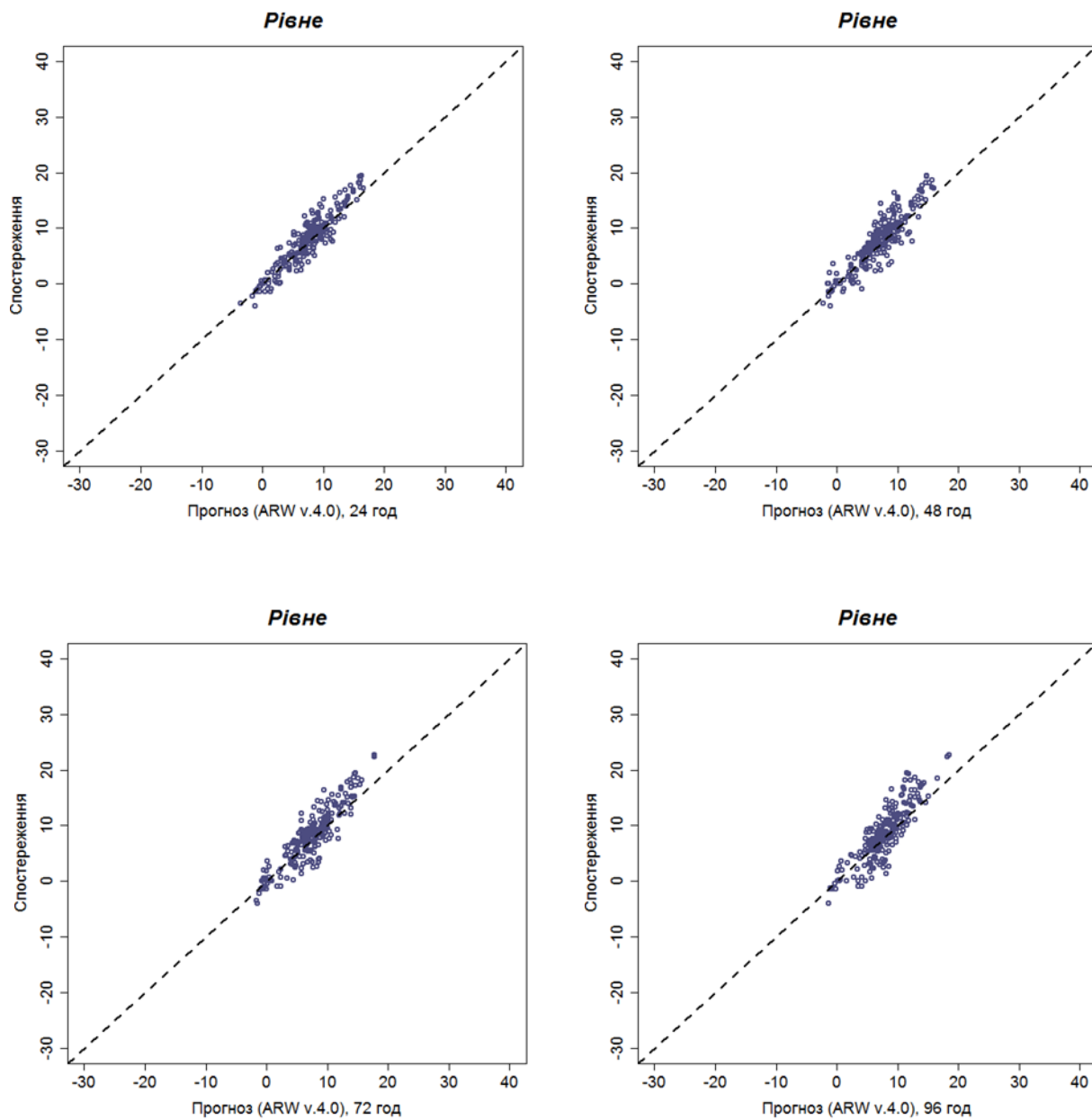


Рис. А.4 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, квітень 2023 р.

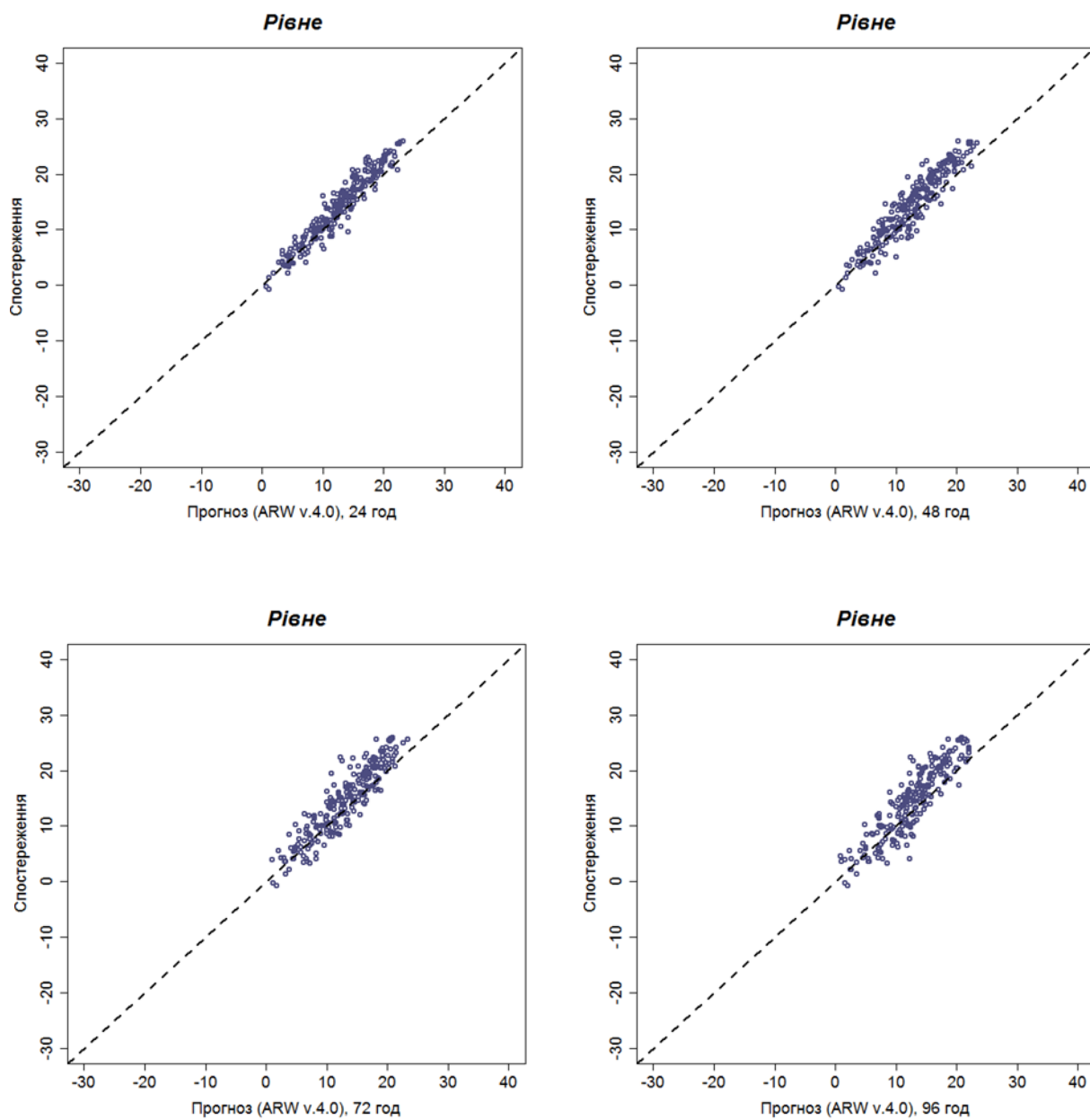


Рис. А.5 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, травень 2023 р.

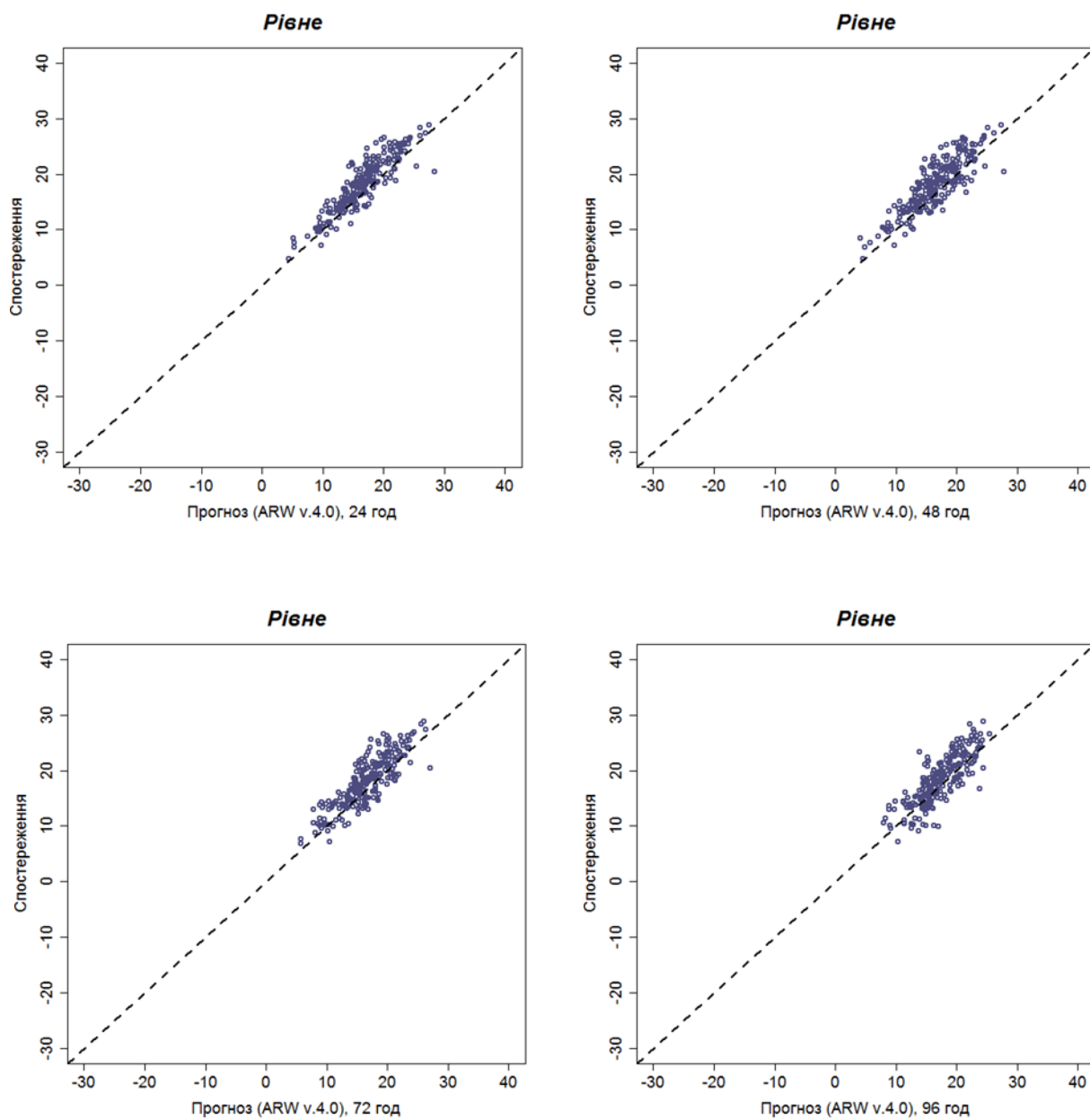


Рис. А.6 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, червень 2023 р.

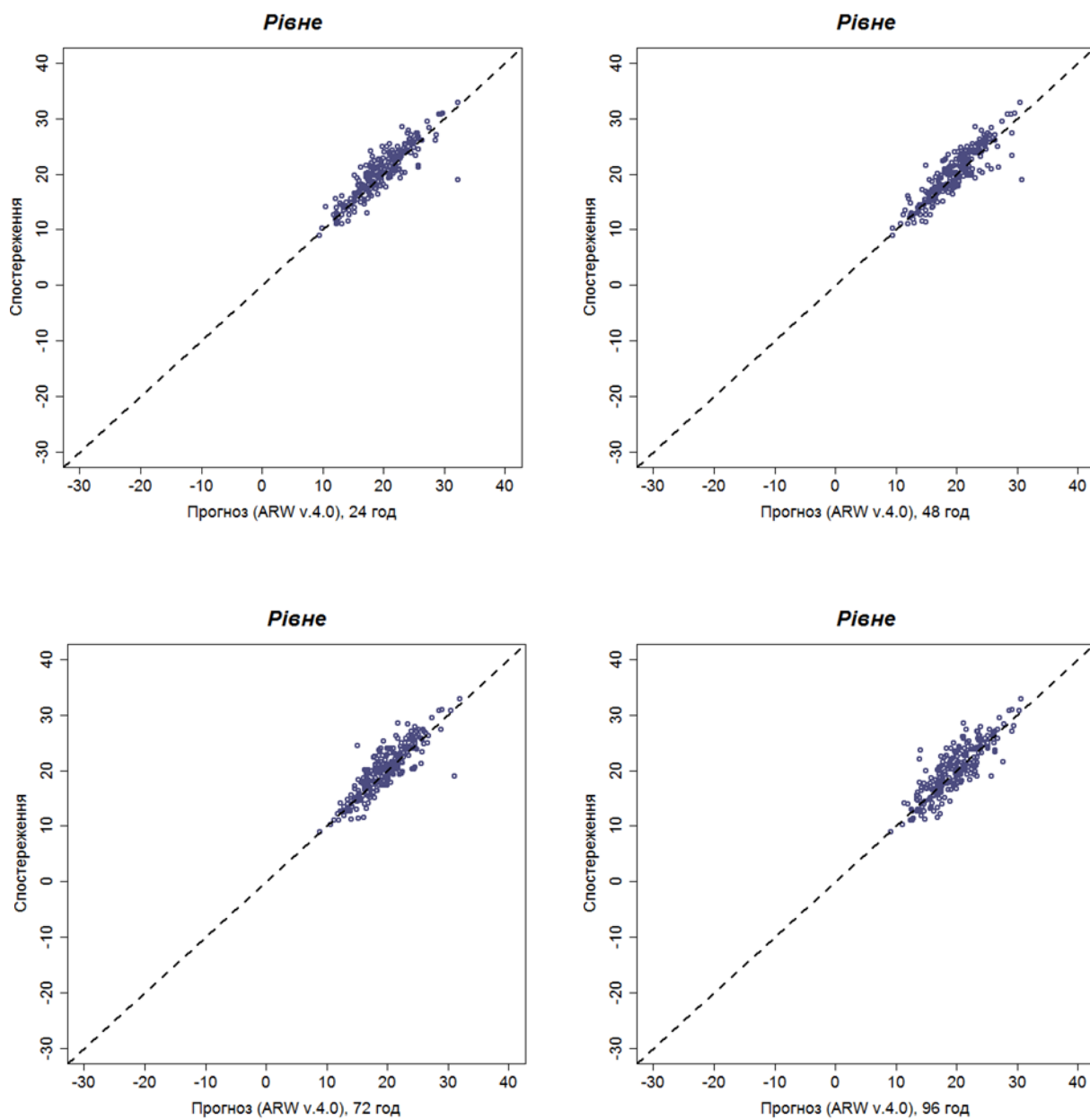


Рис. А.7 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, липень 2023 р.

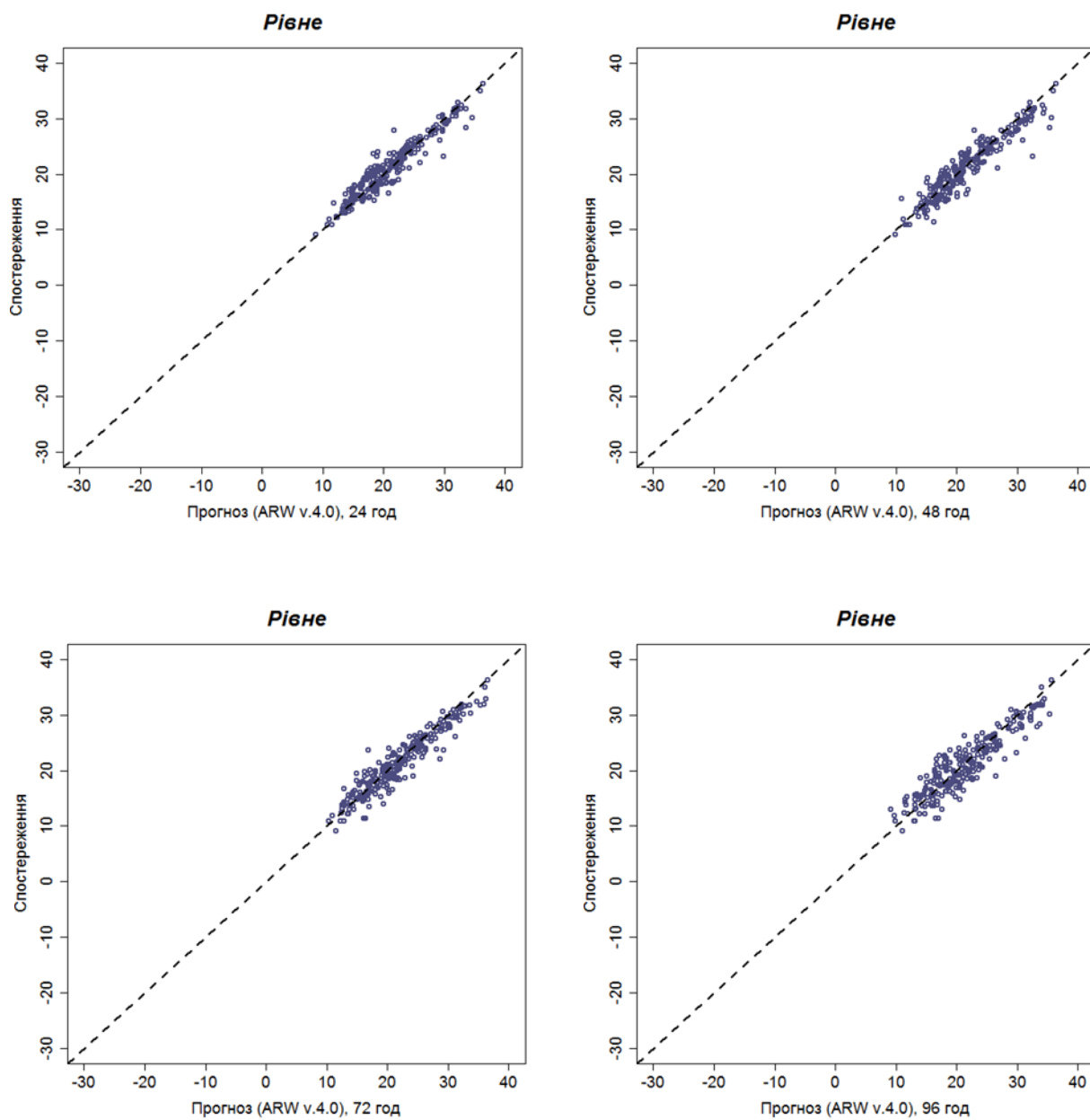


Рис. А.8 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, серпень 2023 р.

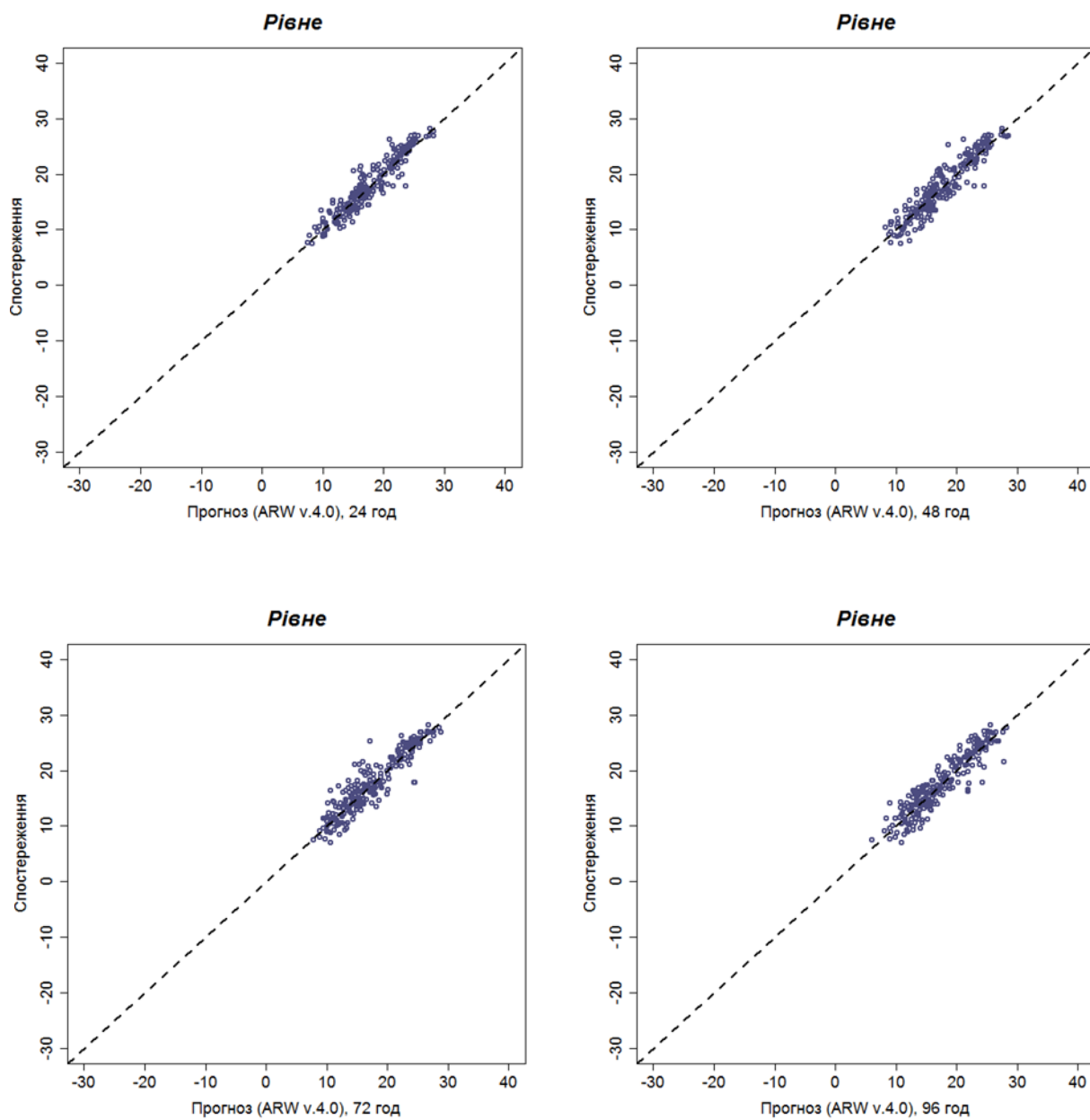


Рис. А.9 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, вересень 2023 р.

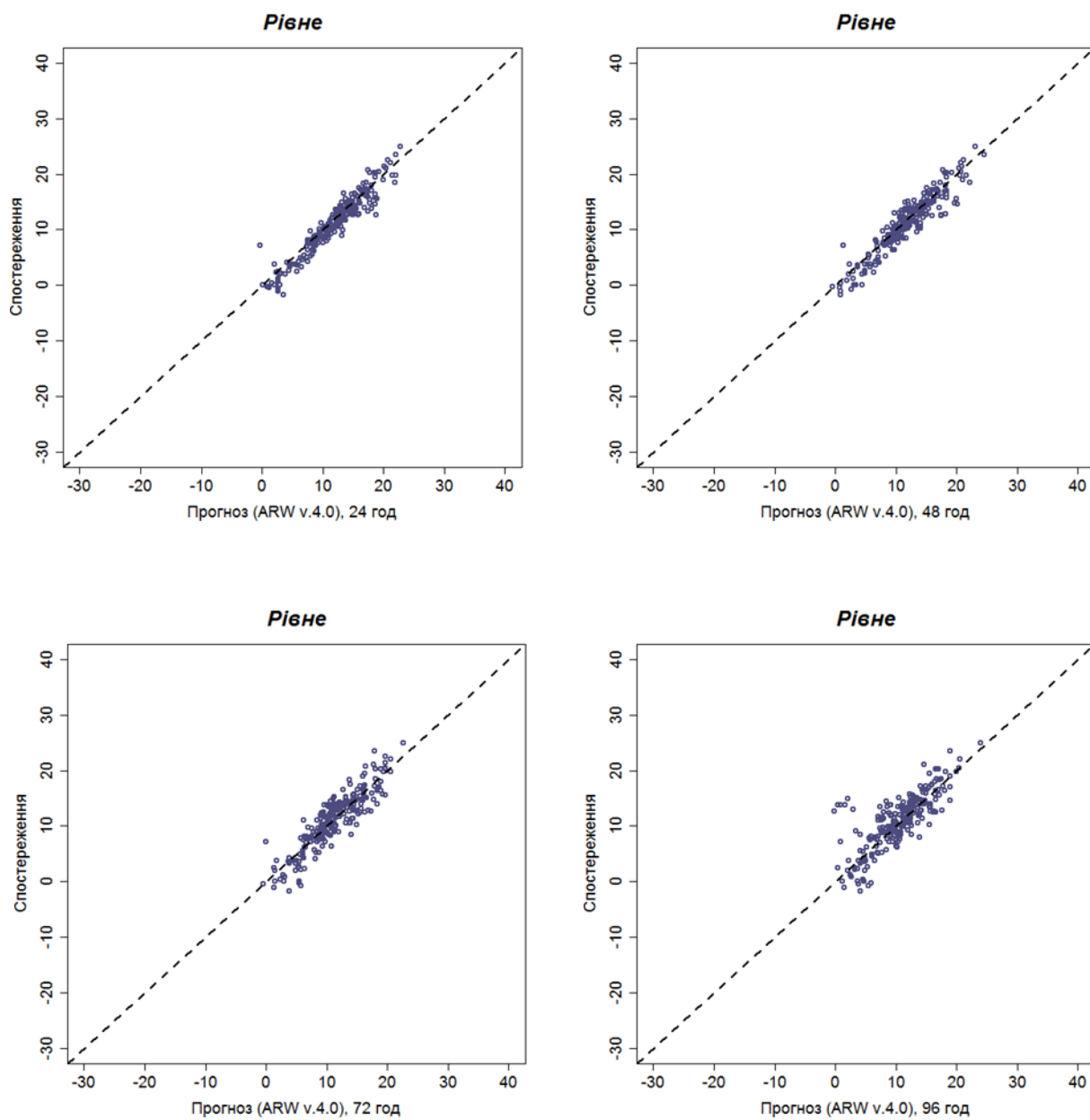


Рис. А.10 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, жовтень 2023 р.

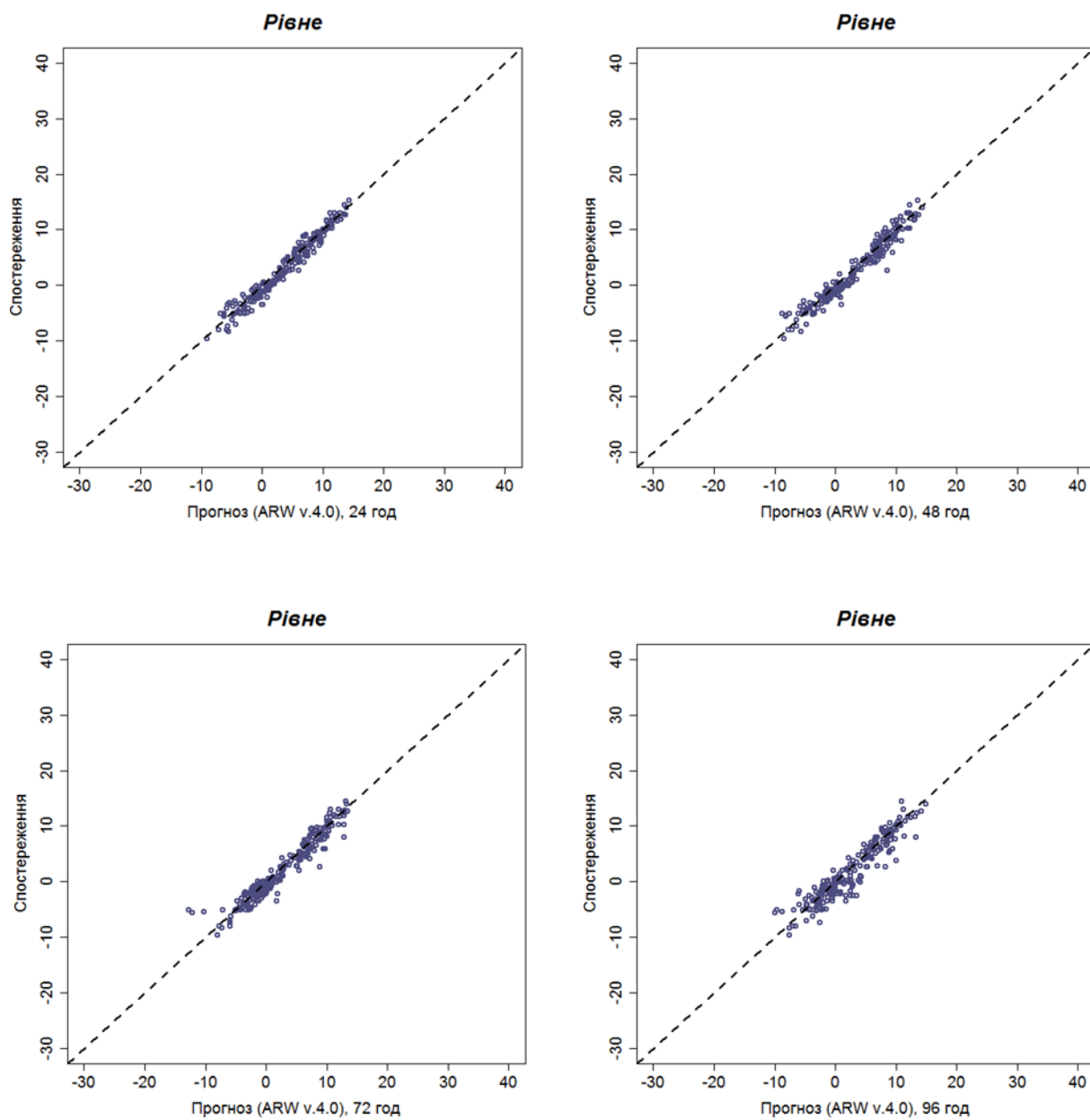


Рис. А.11 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, листопад 2023 р.

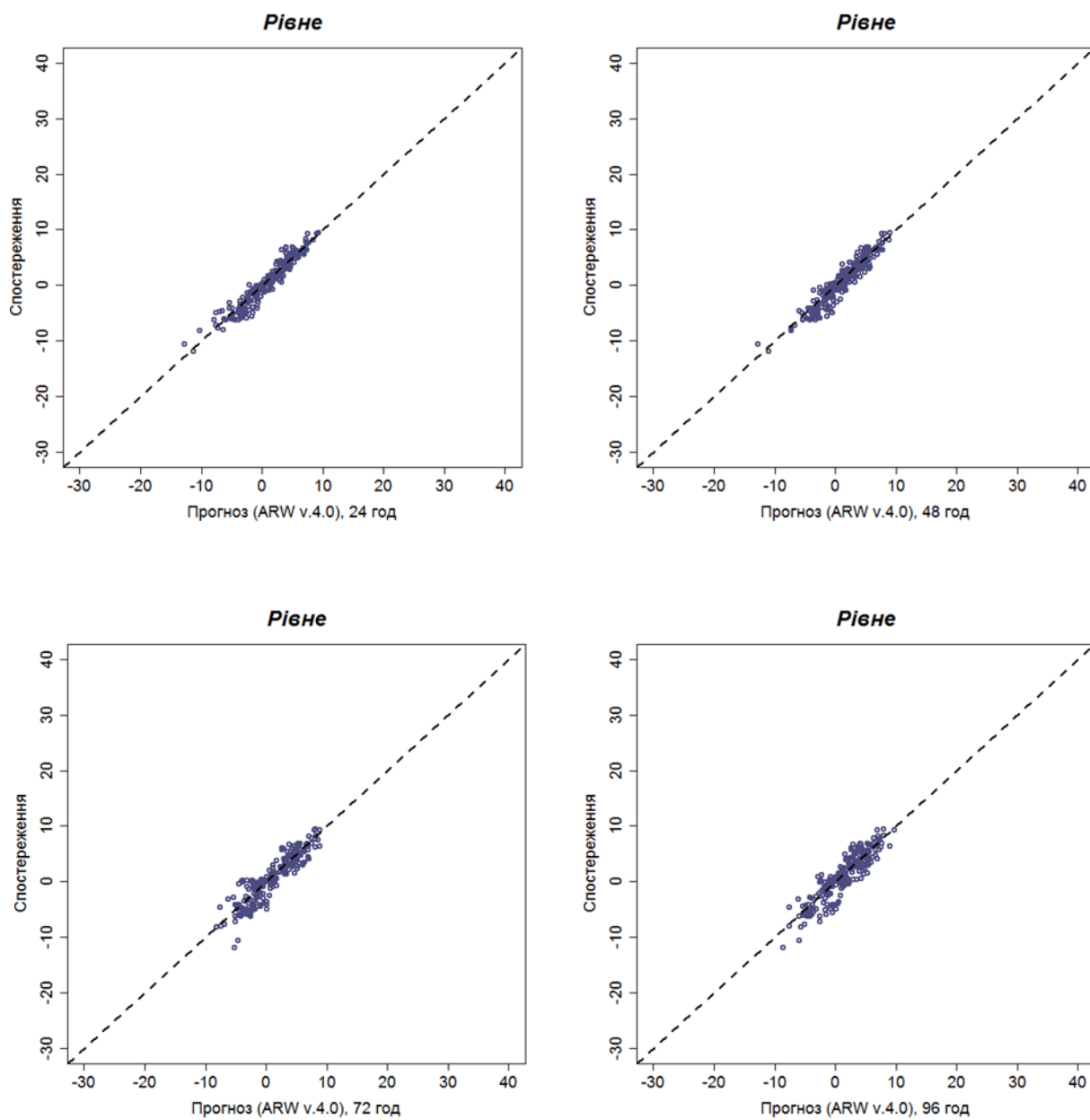


Рис. А.12 Діаграми розсіювання для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, грудень 2023 р.

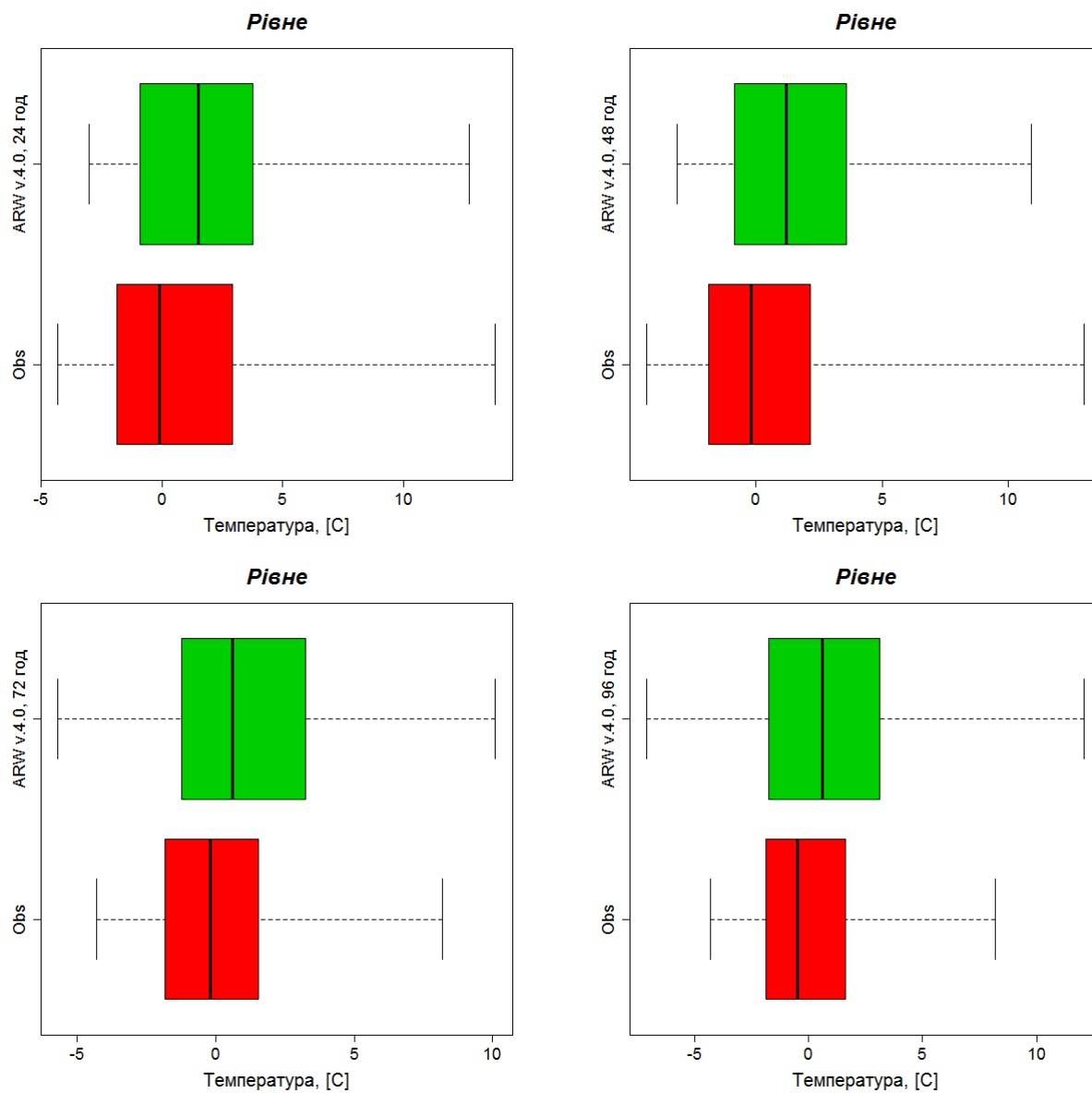


Рис. А.13 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, січень 2023 р.

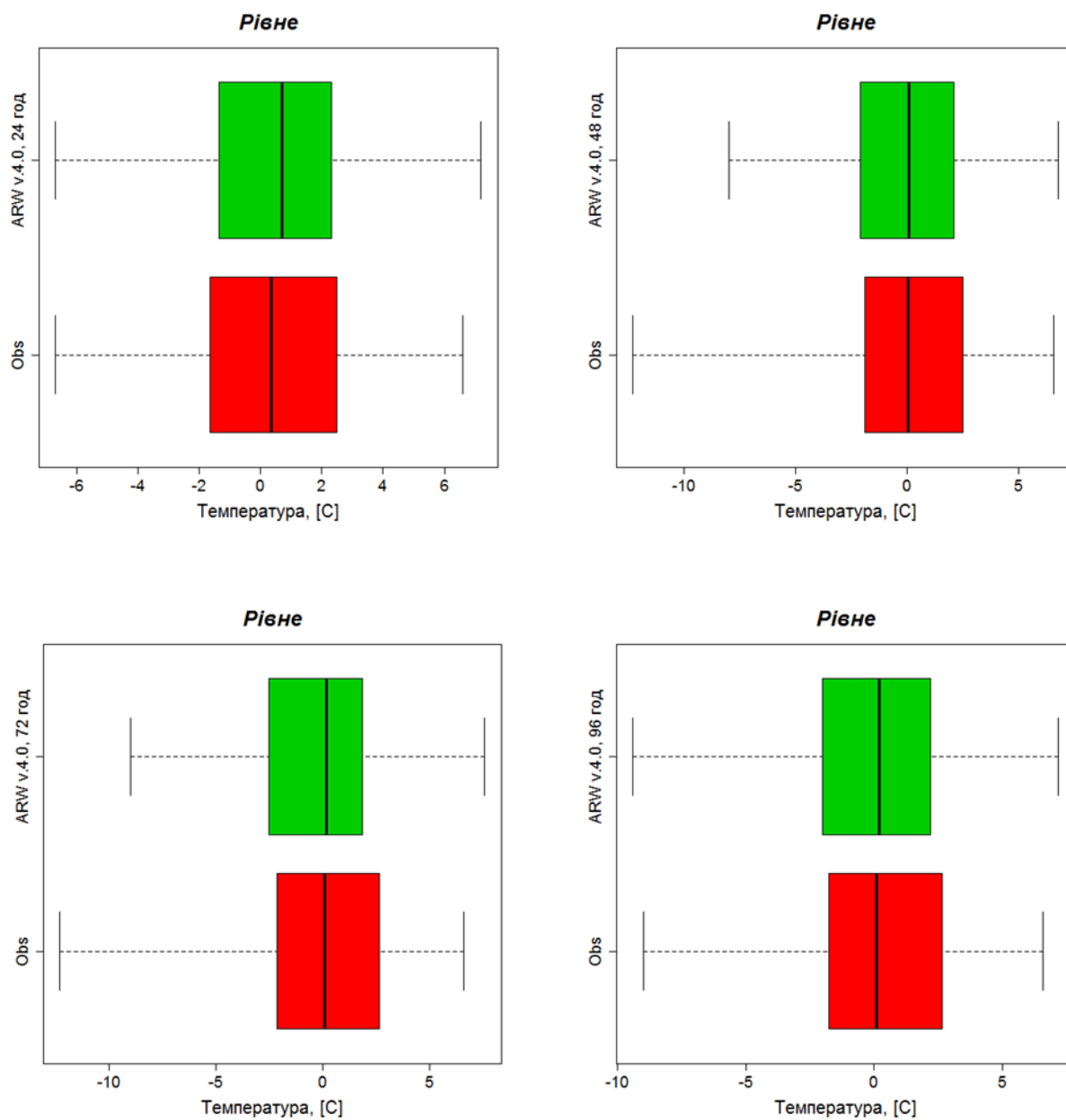


Рис. А.14 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, лютий 2023 р.

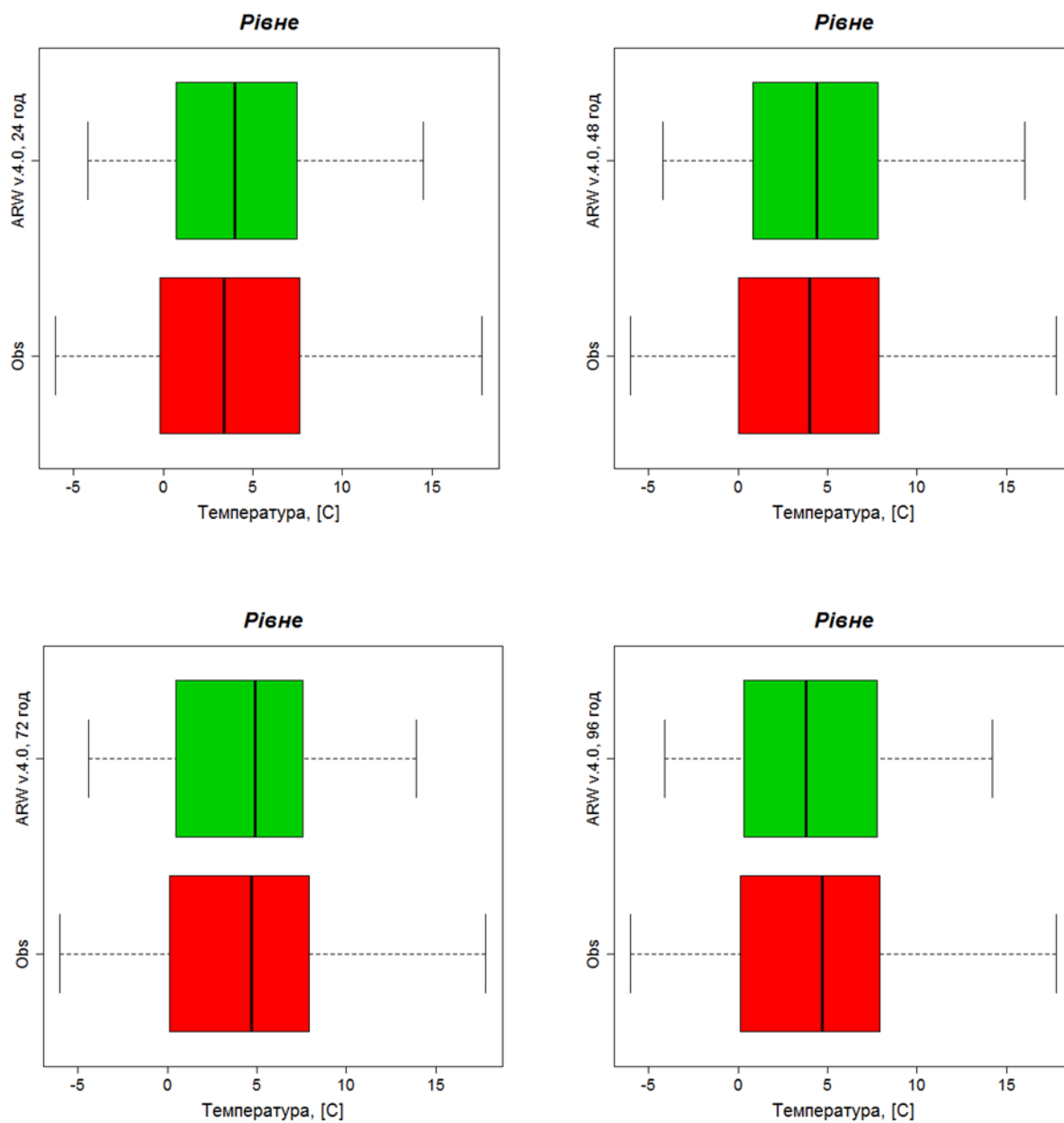


Рис. А.15 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, березень 2023 р.

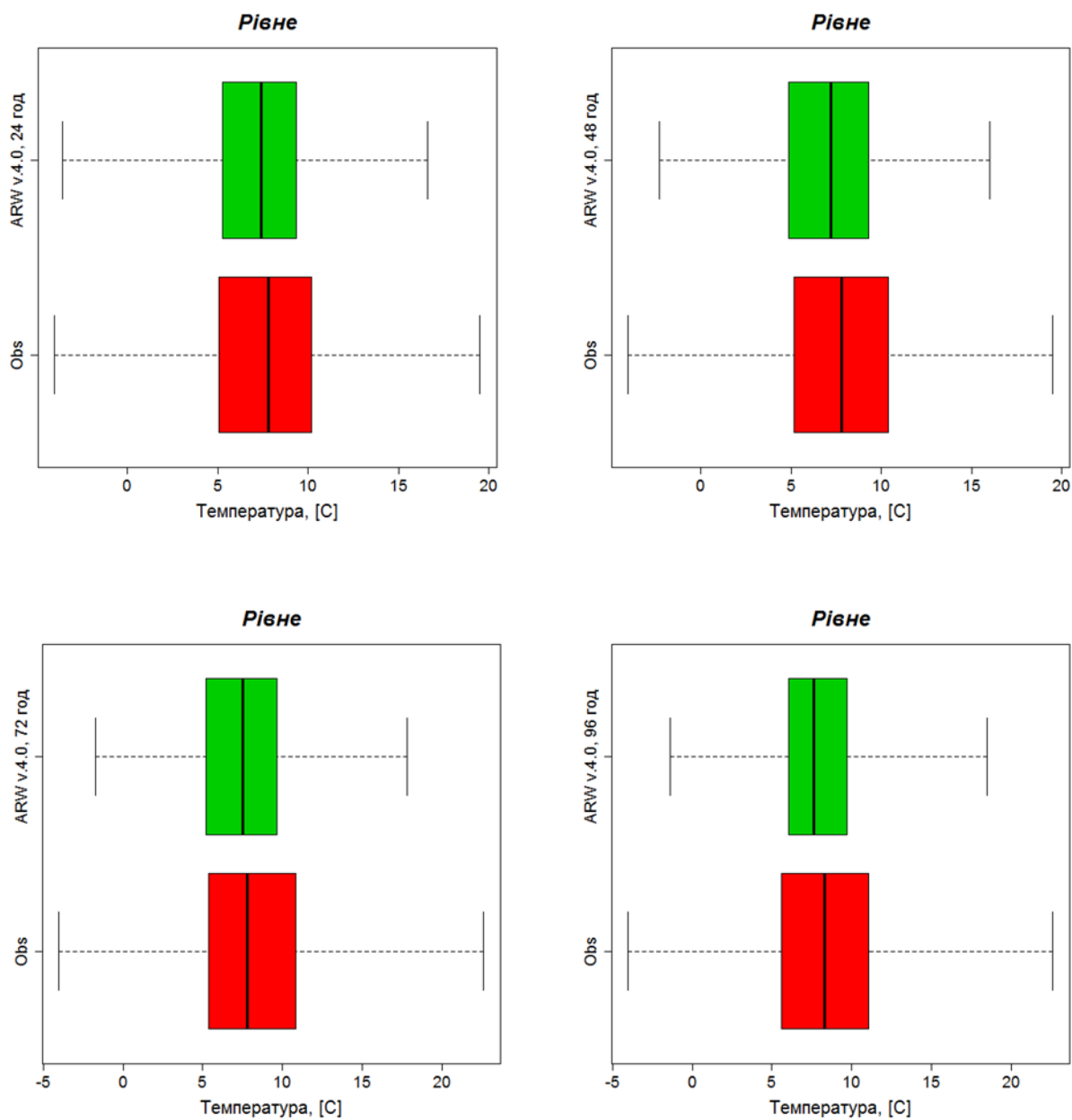


Рис. А.16 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, квітень 2023 р.

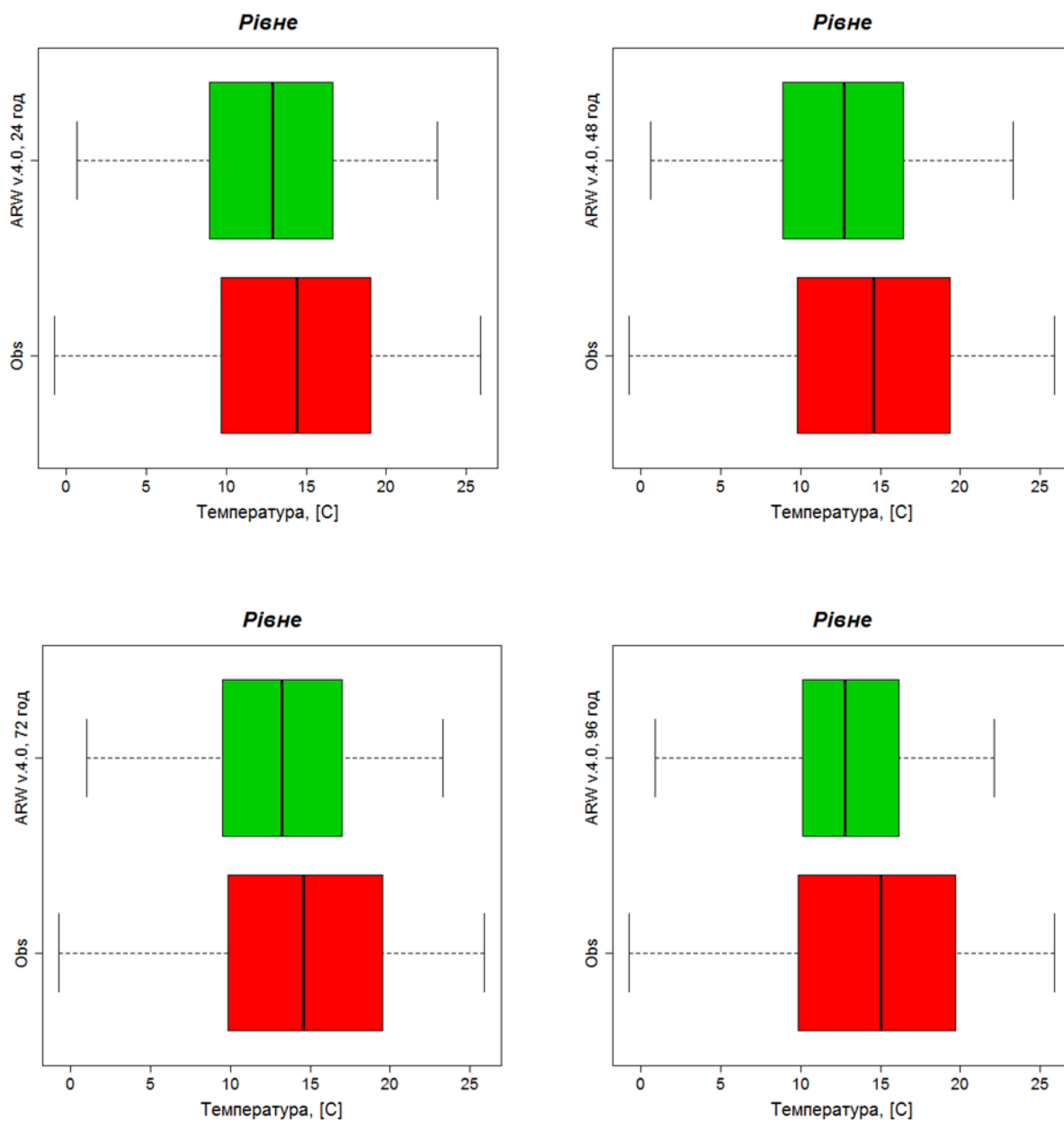


Рис. А.17 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, травень 2023 р.

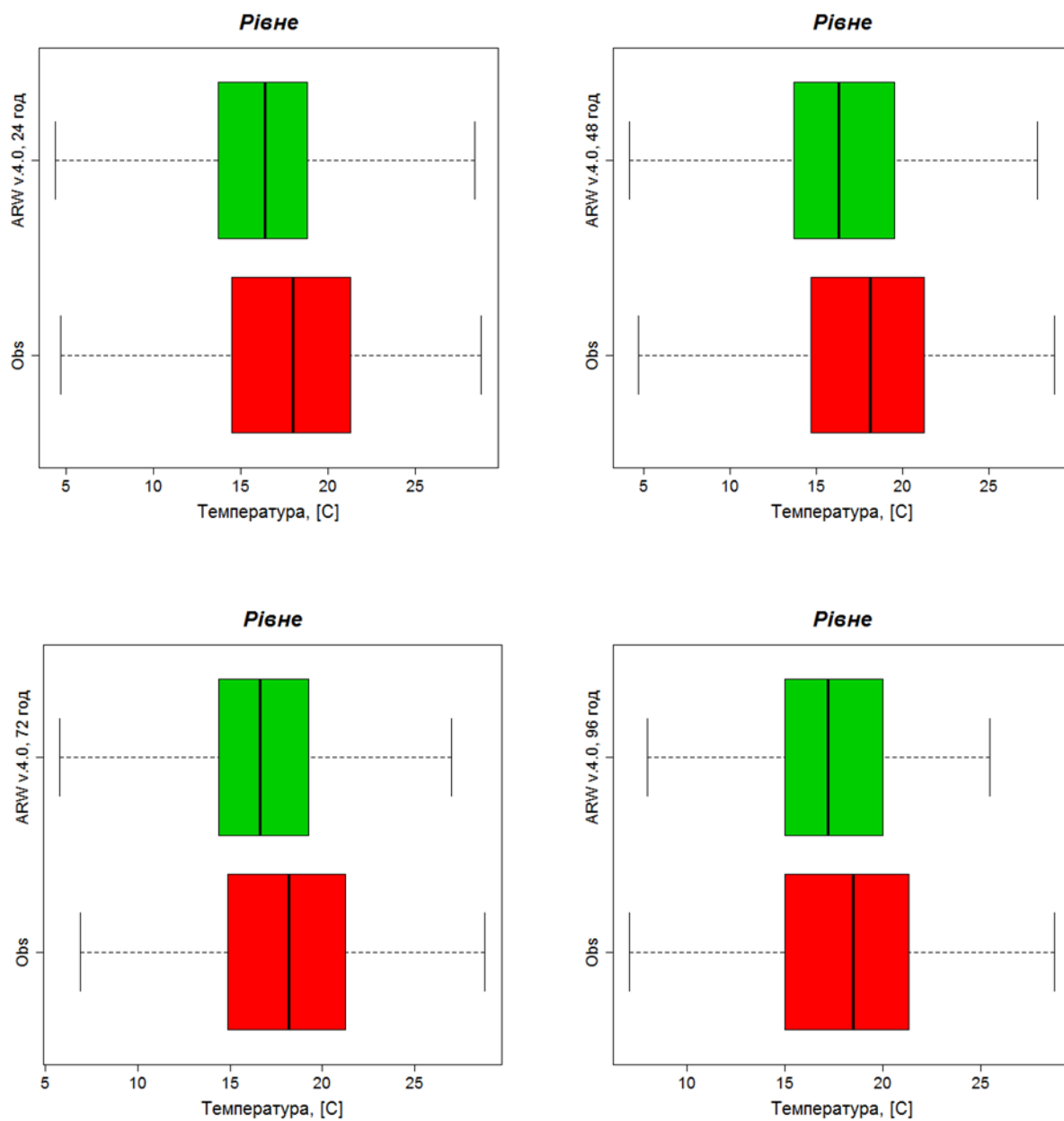


Рис. А.18 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, червень 2023 р.

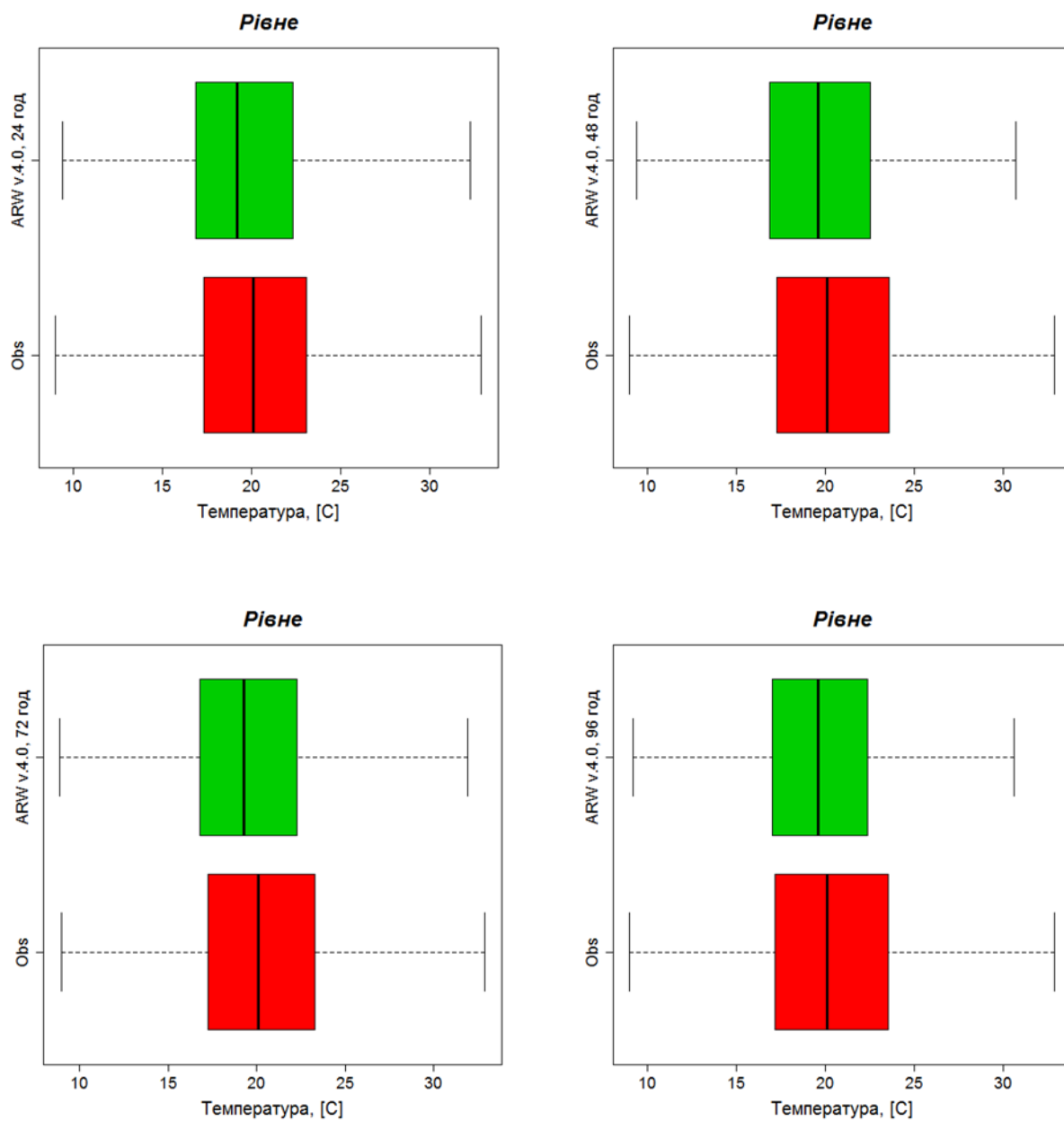


Рис. А.19 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, липень 2023 р.

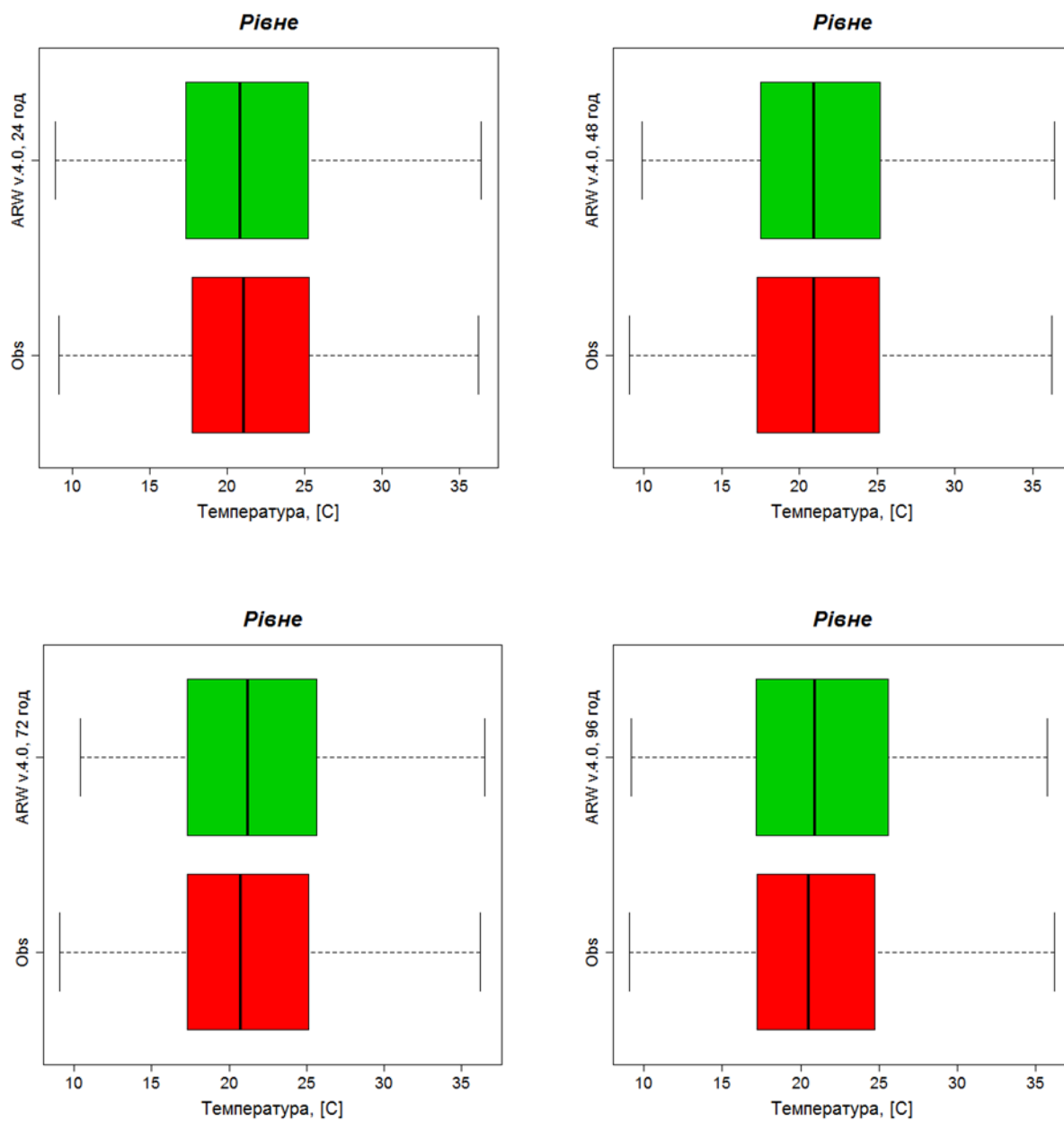


Рис. А.20 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, серпень 2023 р.

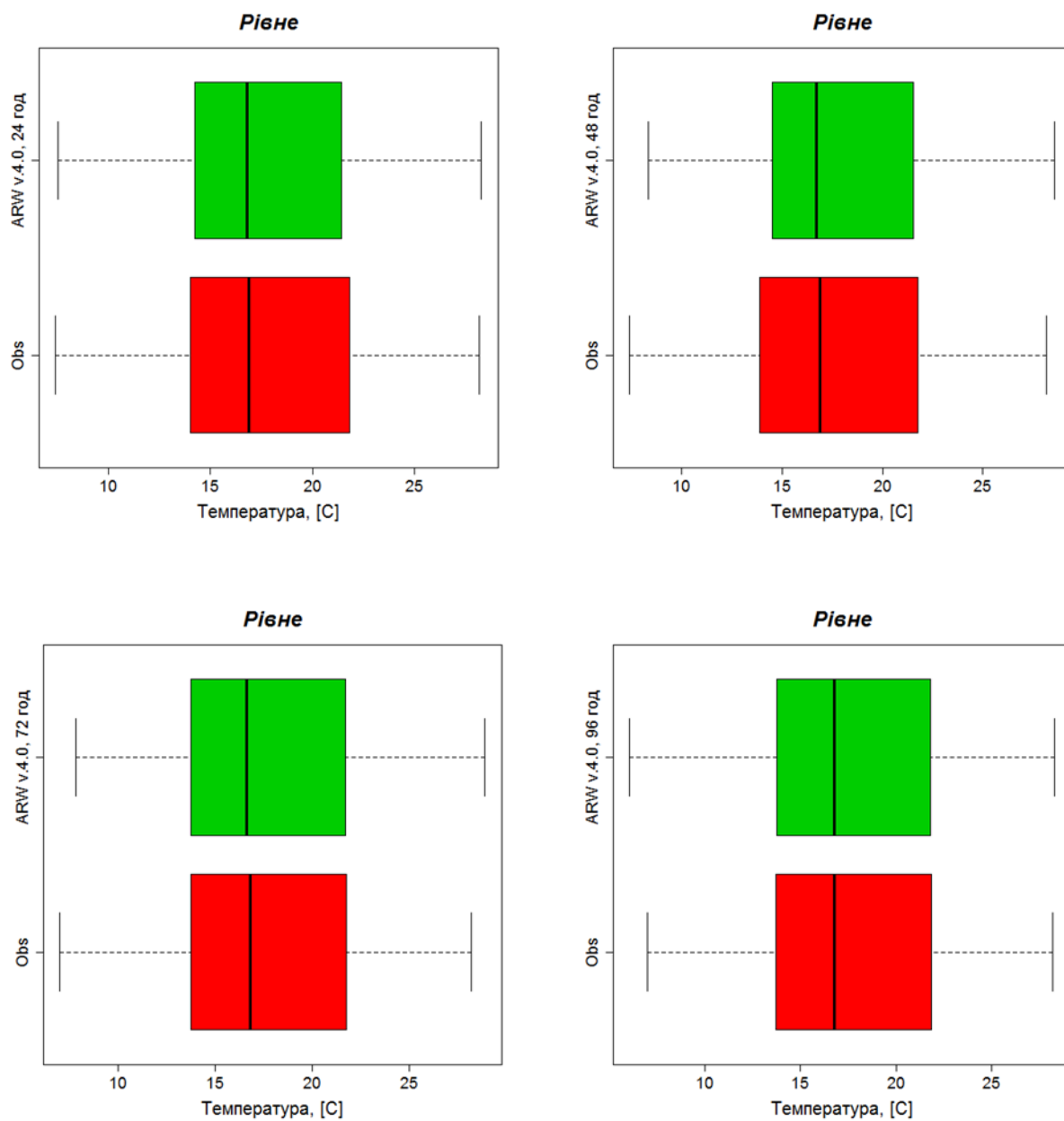


Рис. А.21 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, вересень 2023 р.

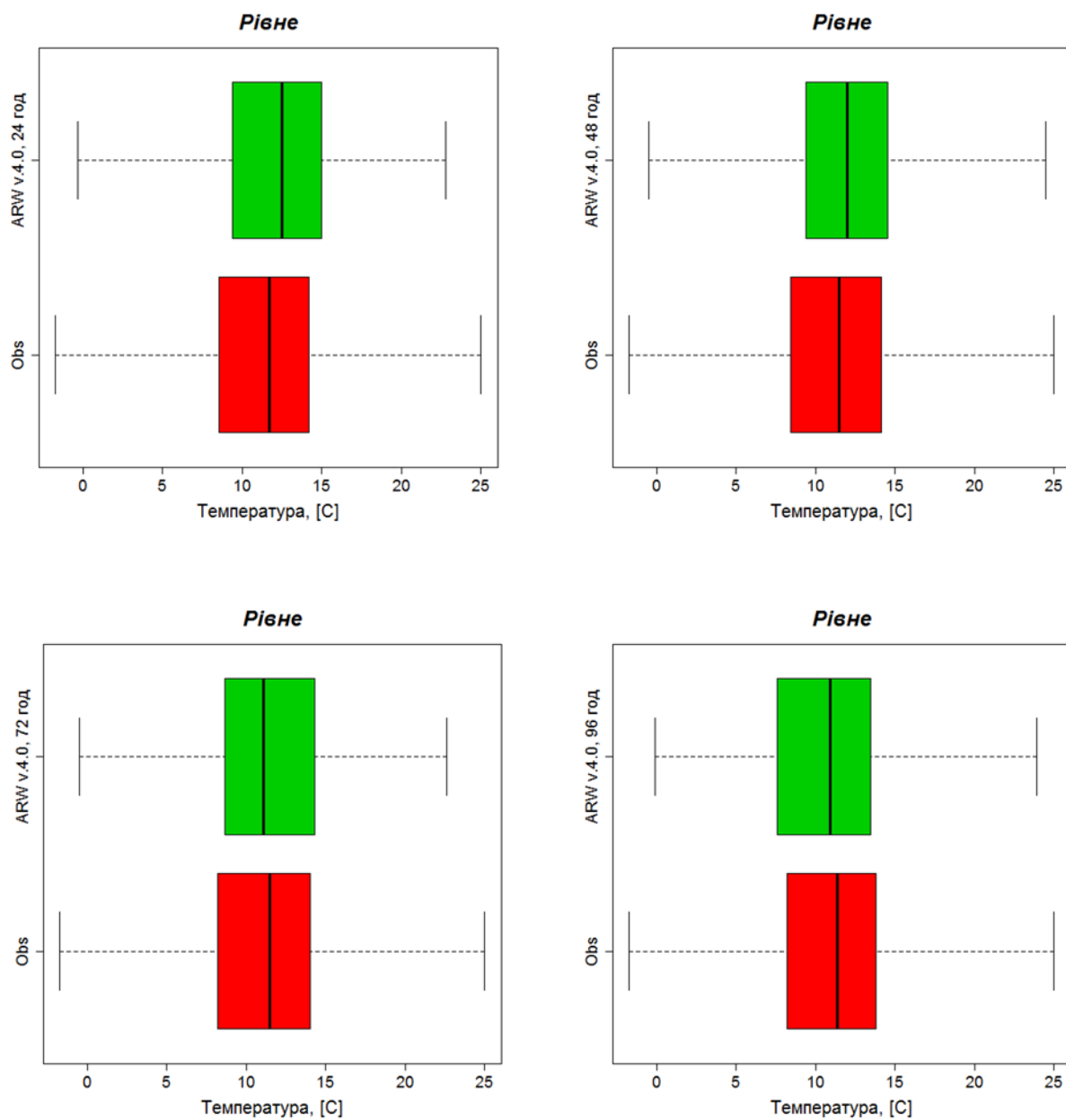


Рис. А.22 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, жовтень 2023 р.

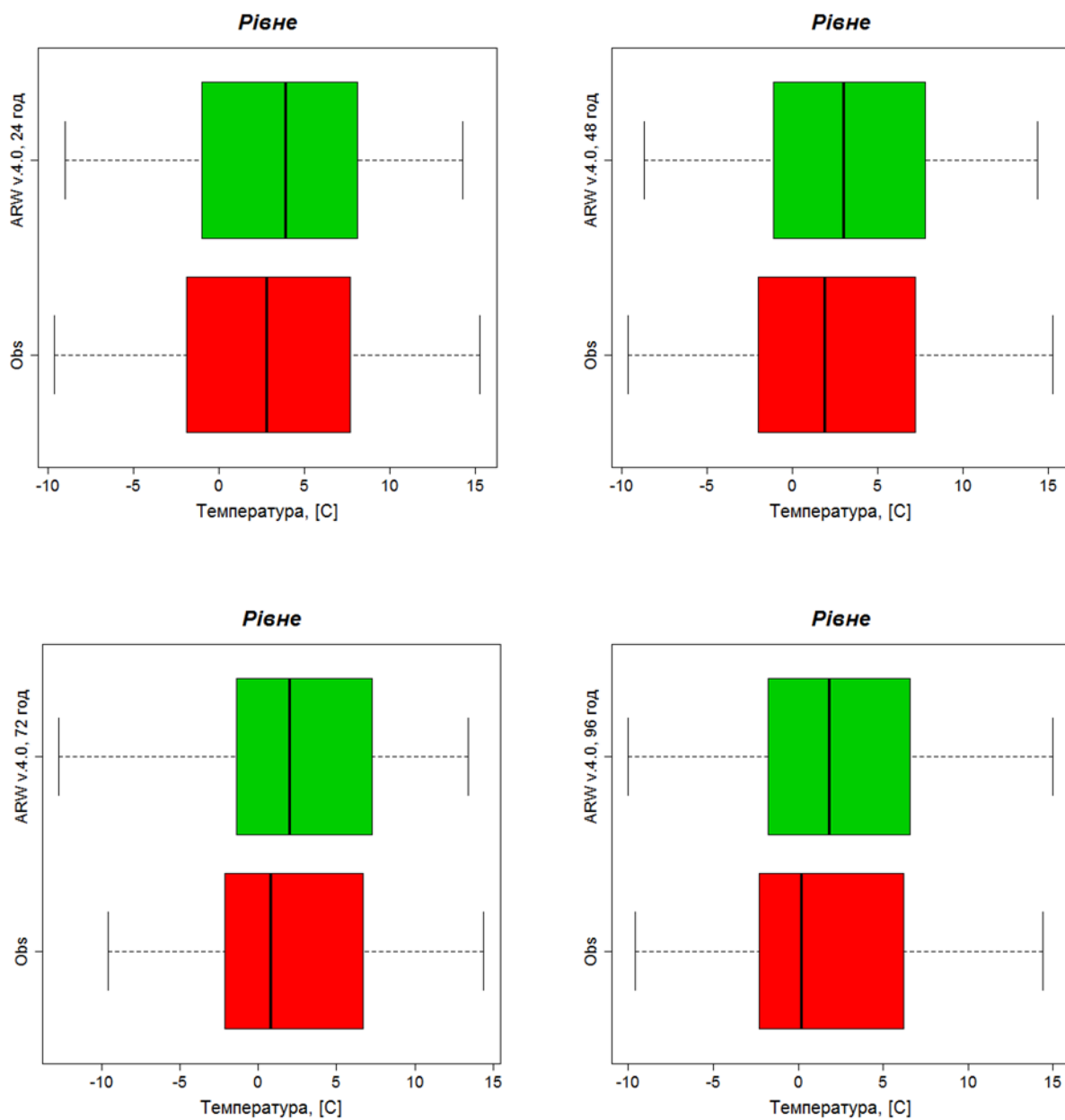


Рис. А.23 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, листопад 2023 р.

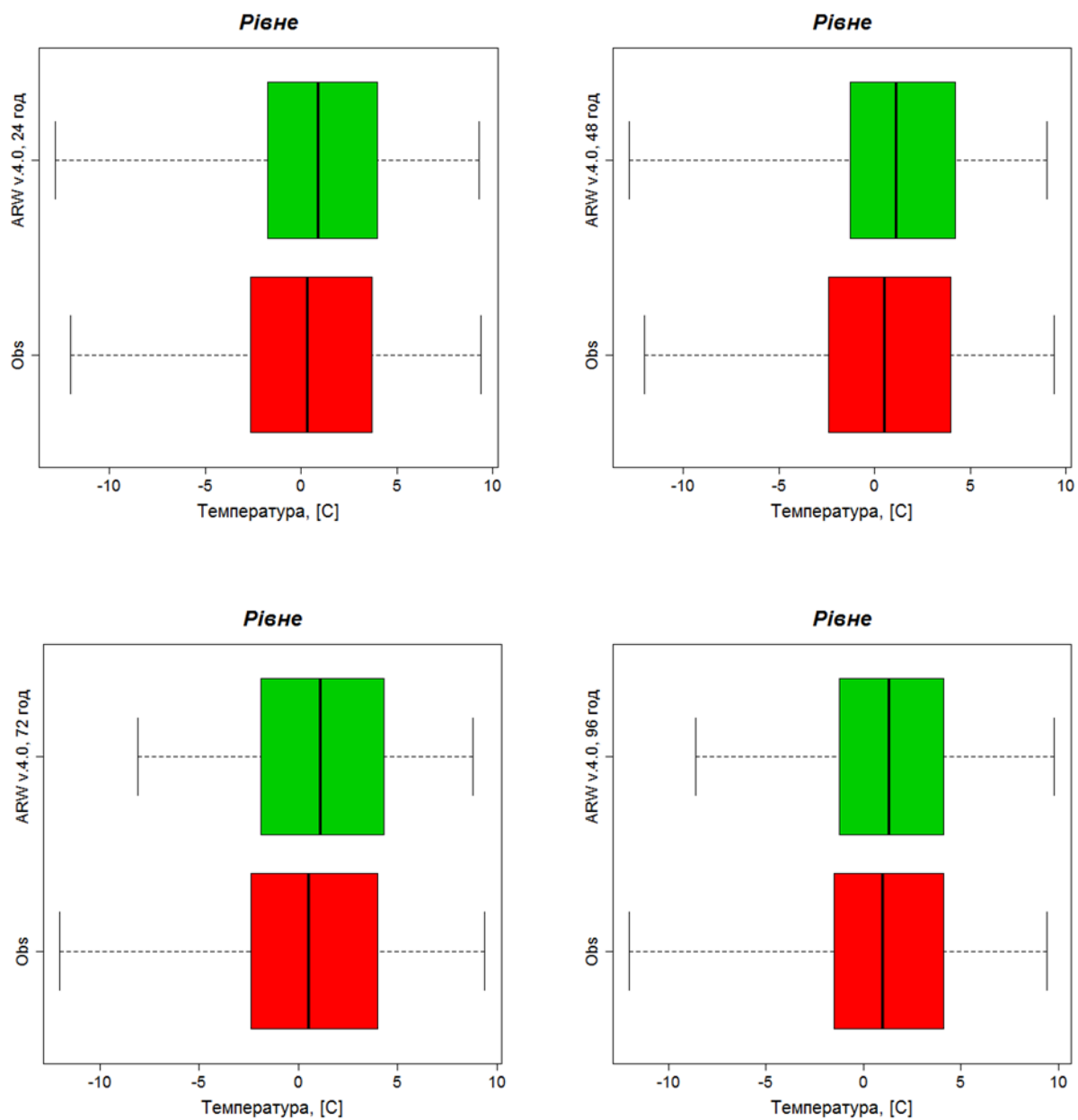


Рис. А.24 Коробчасті діаграми для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, грудень 2023 р.

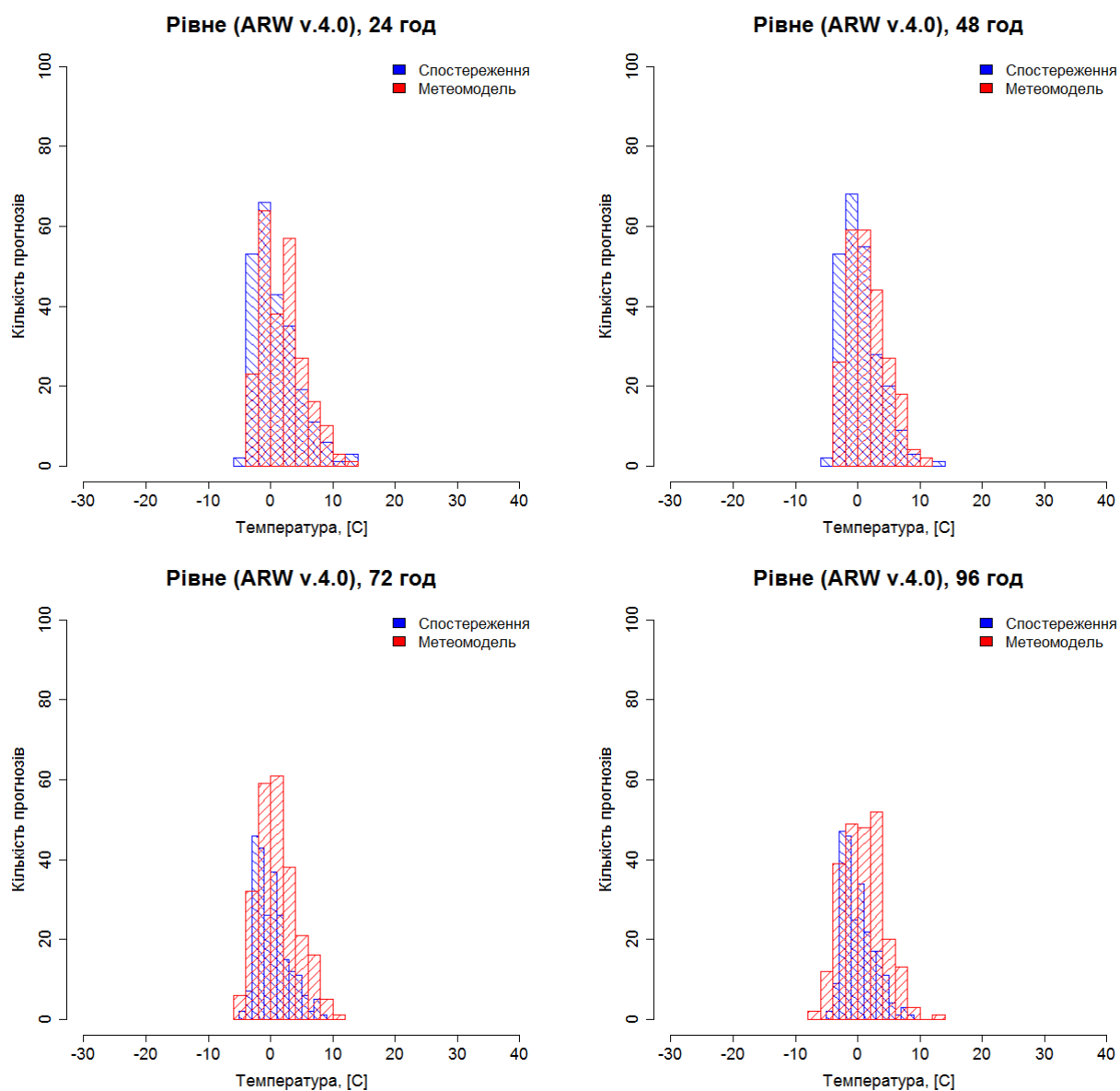


Рис. А.25 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, січень 2023 р.

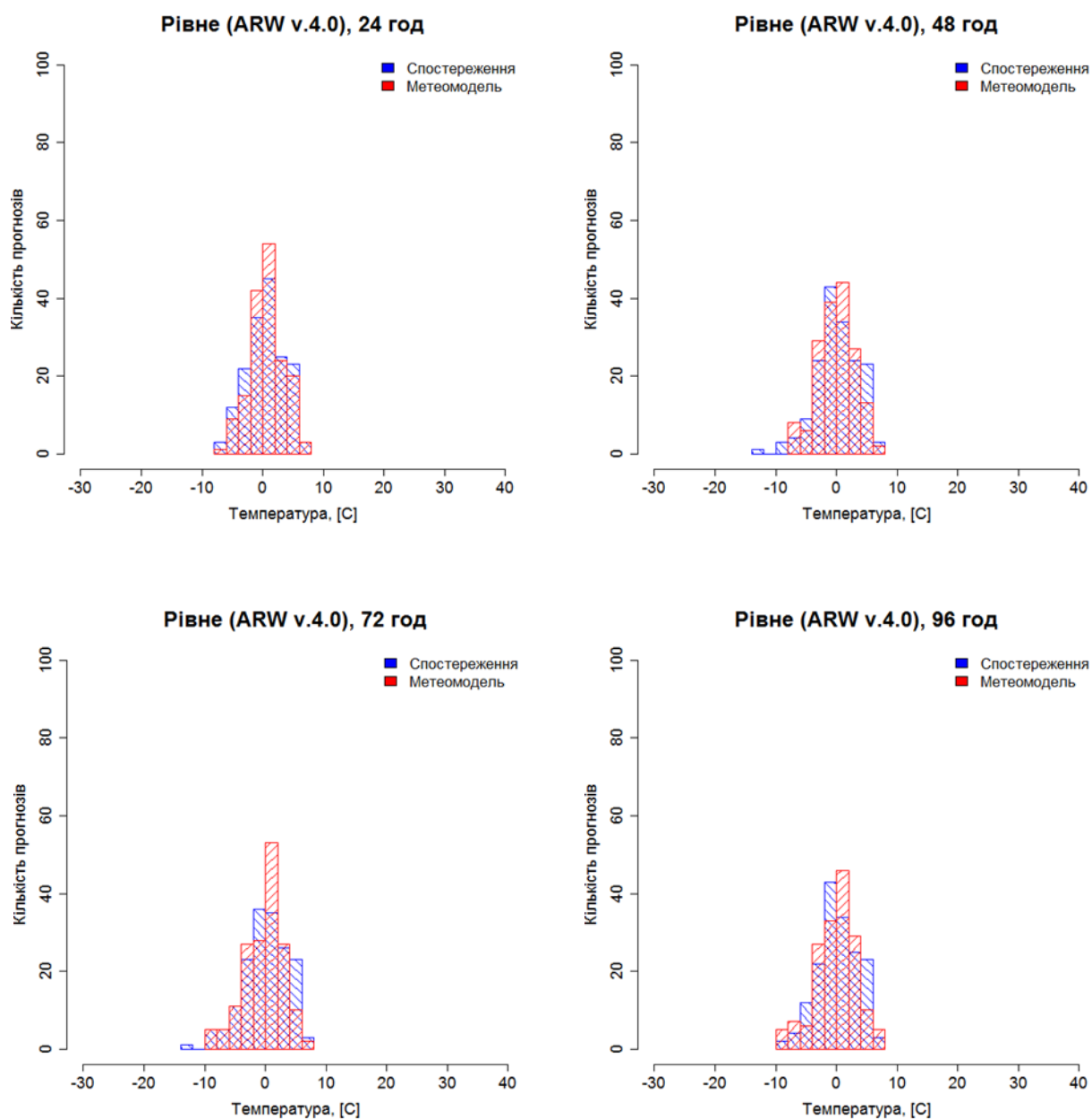


Рис. А.26 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, лютий 2023 р.

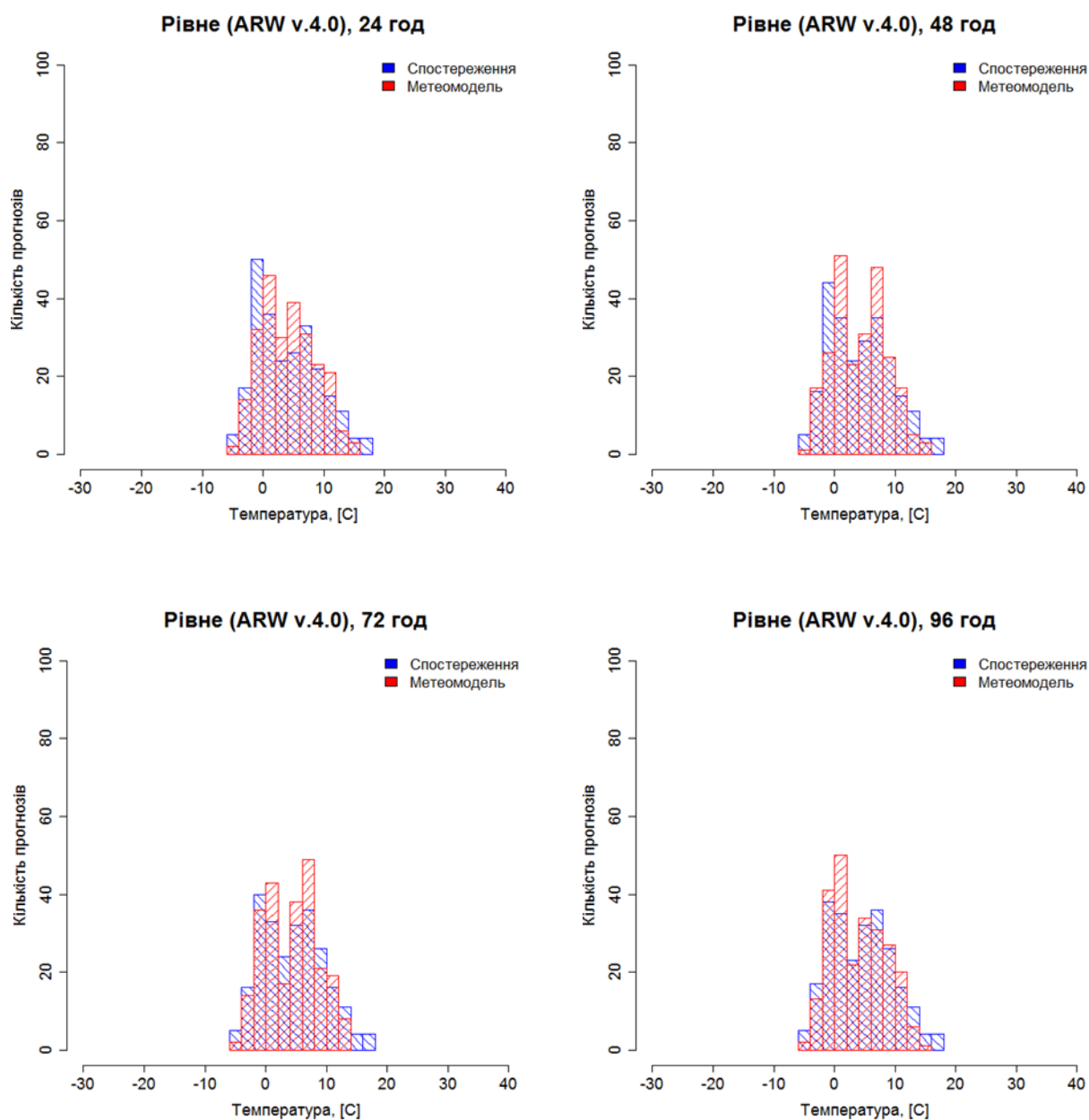


Рис. А.27 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, березень 2023 р.

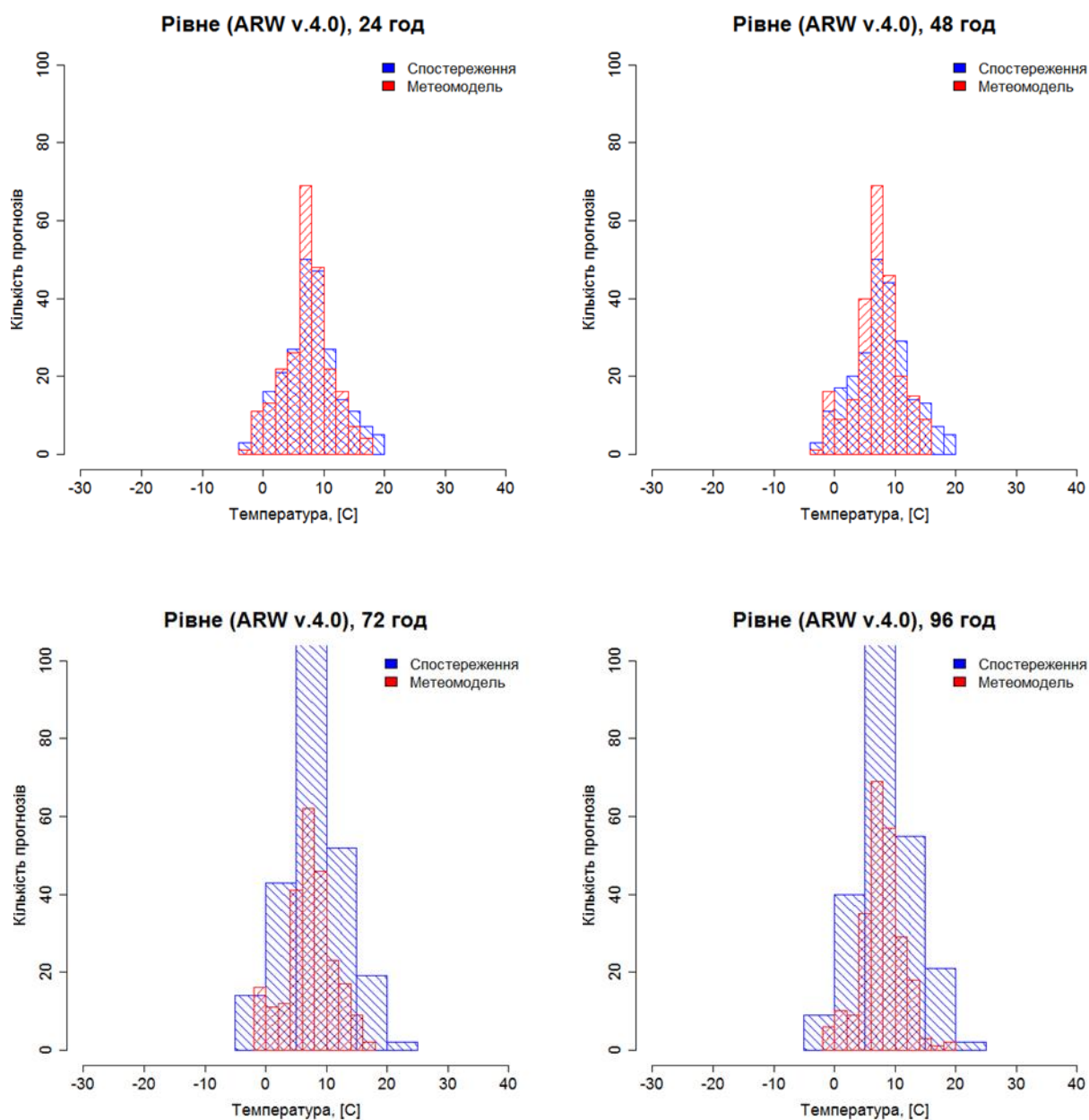


Рис. А.28 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, квітень 2023 р.

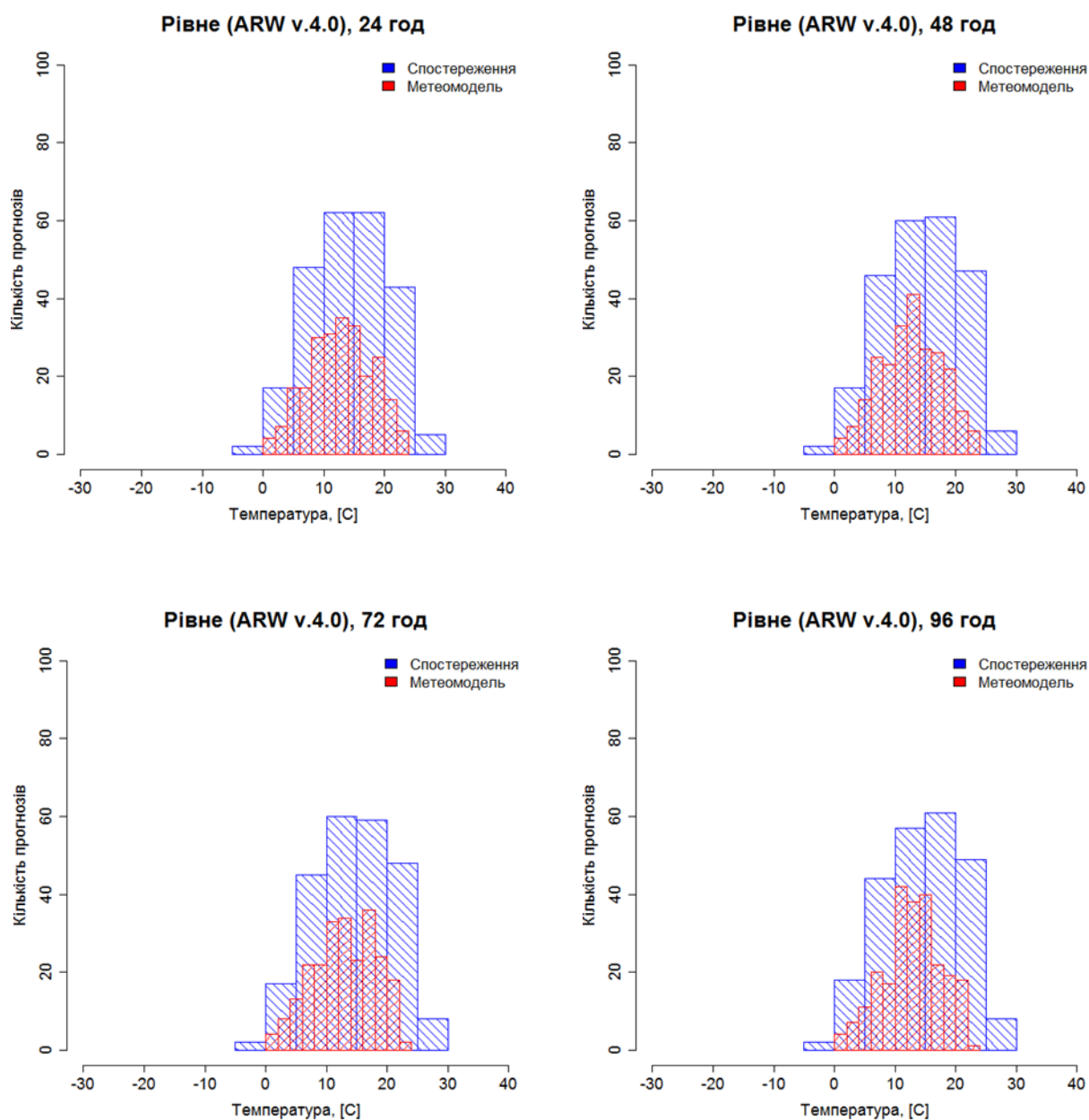


Рис. А.29 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, травень 2023 р.

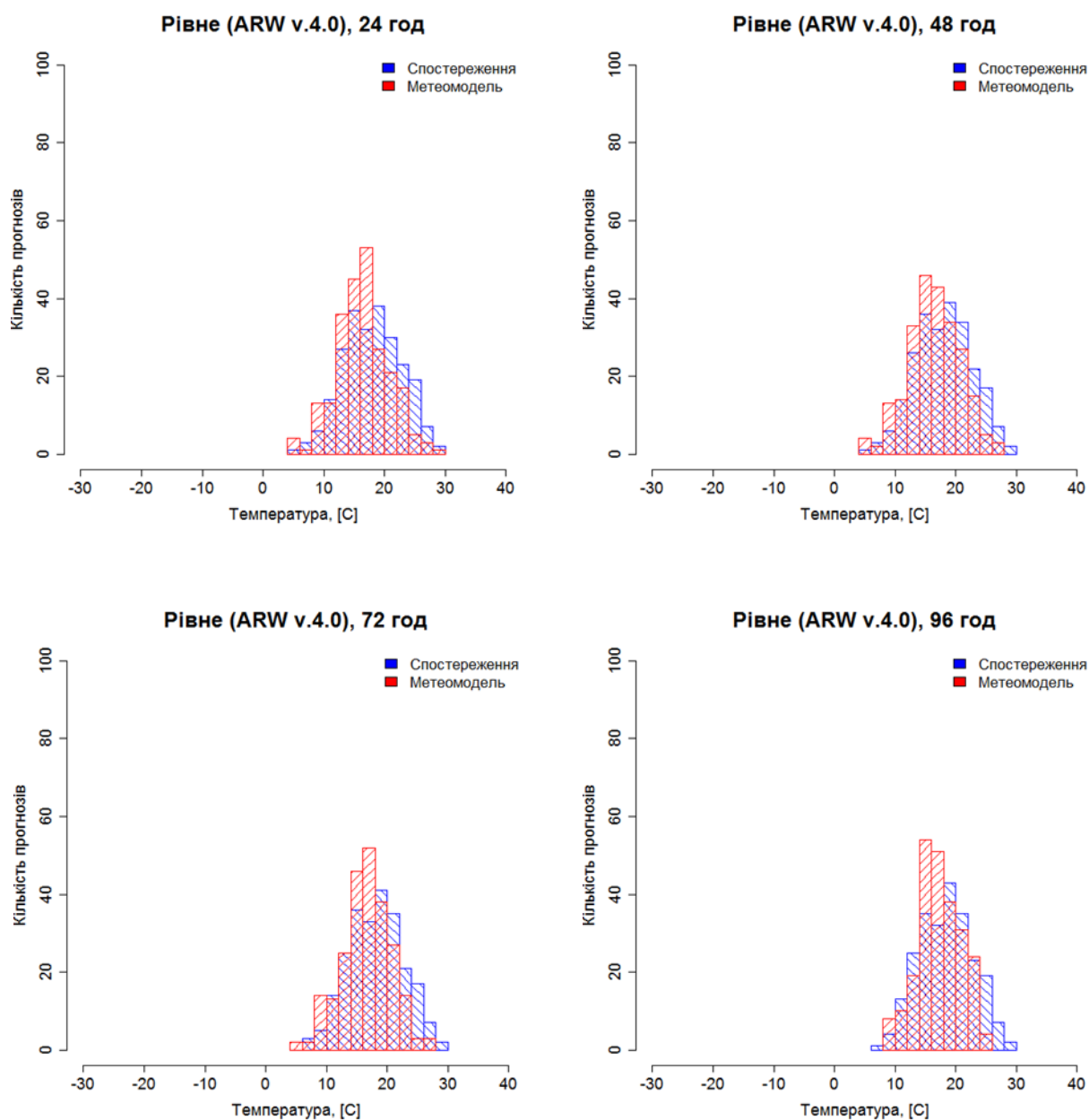


Рис. А.30 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, червень 2023 р.

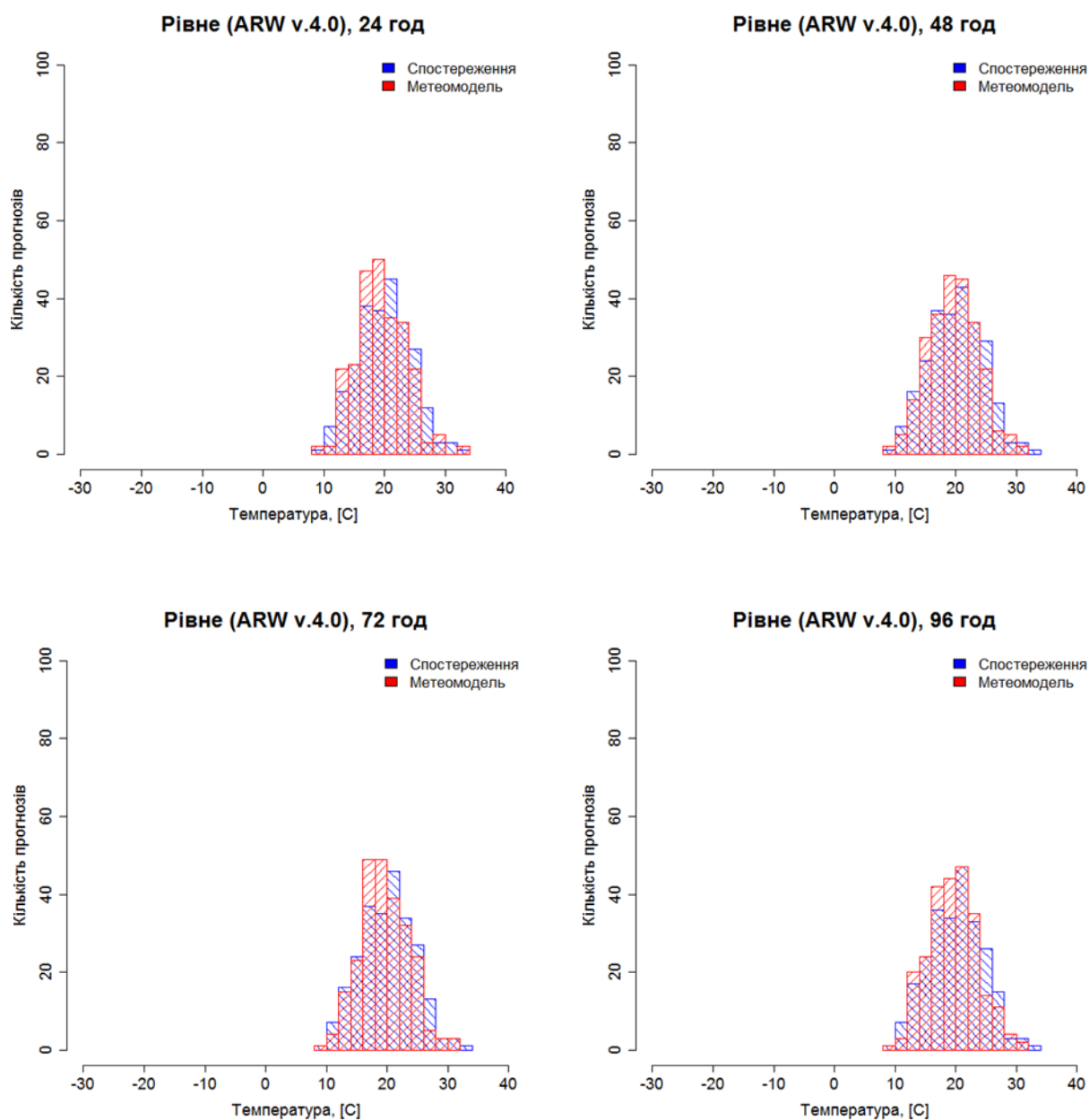


Рис. А.31 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, липень 2023 р.

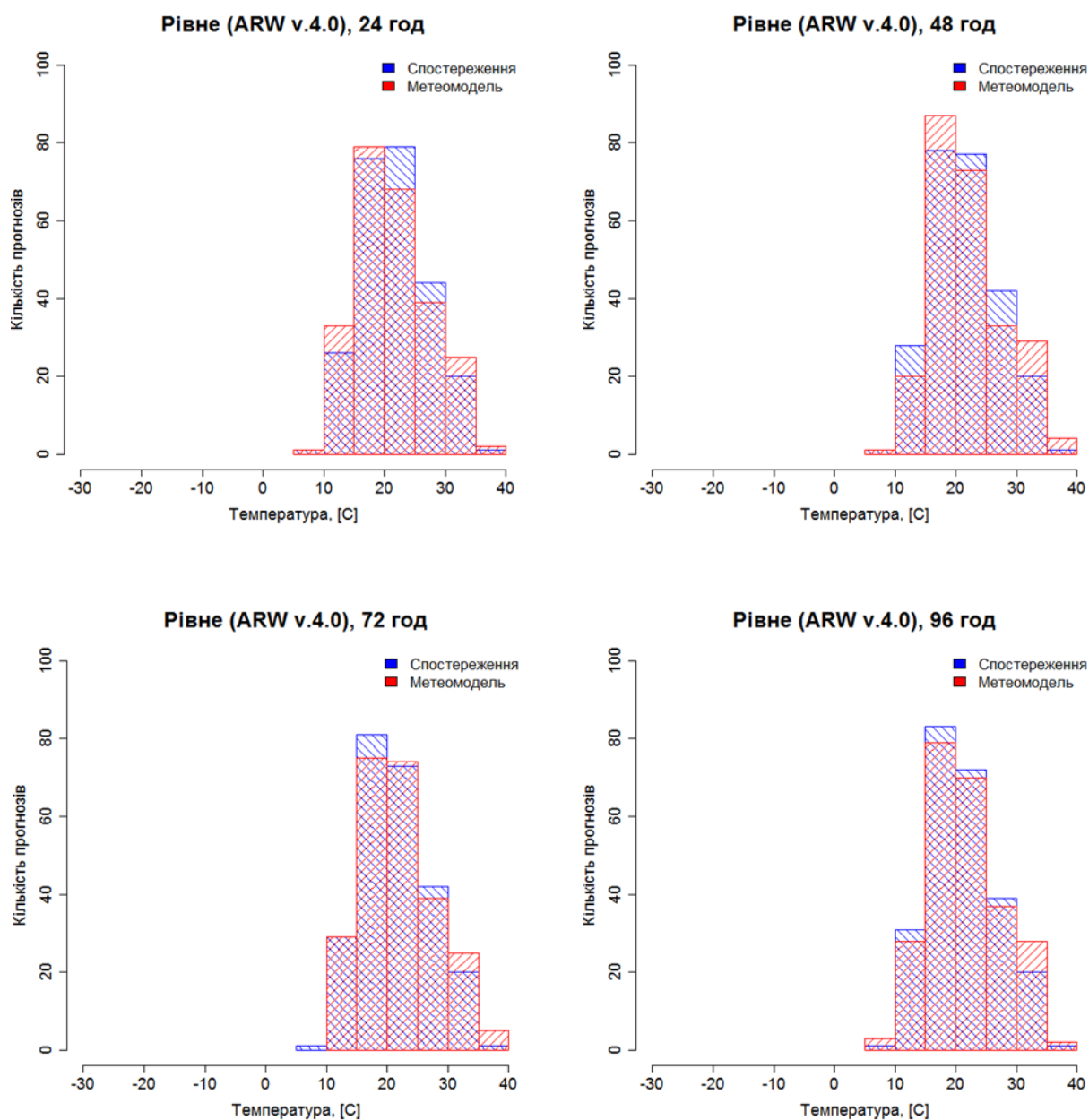


Рис. А.32 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, серпень 2023 р.

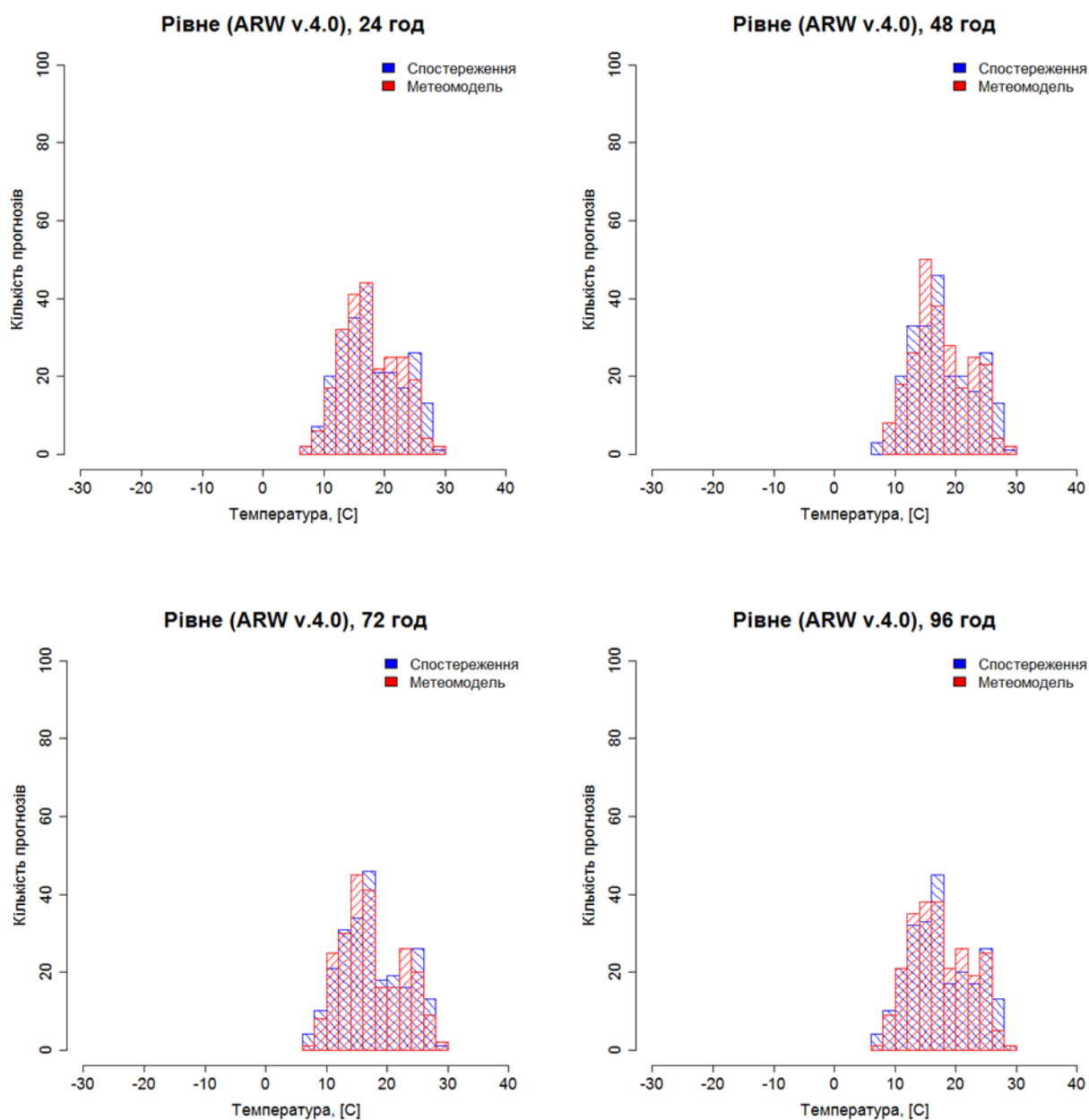


Рис. А.33 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, вересень 2023 р.

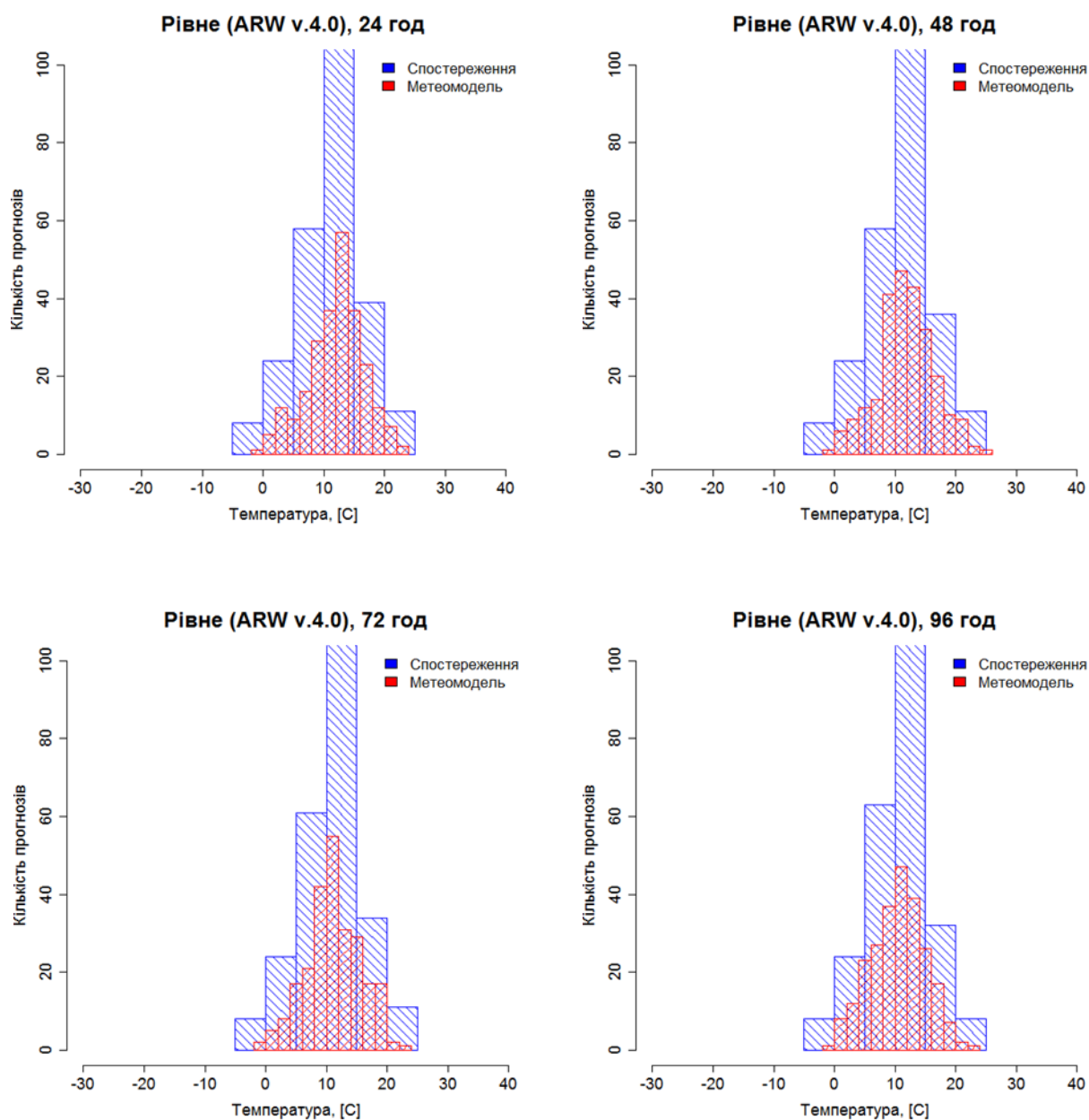


Рис. А.34 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, жовтень 2023 р.

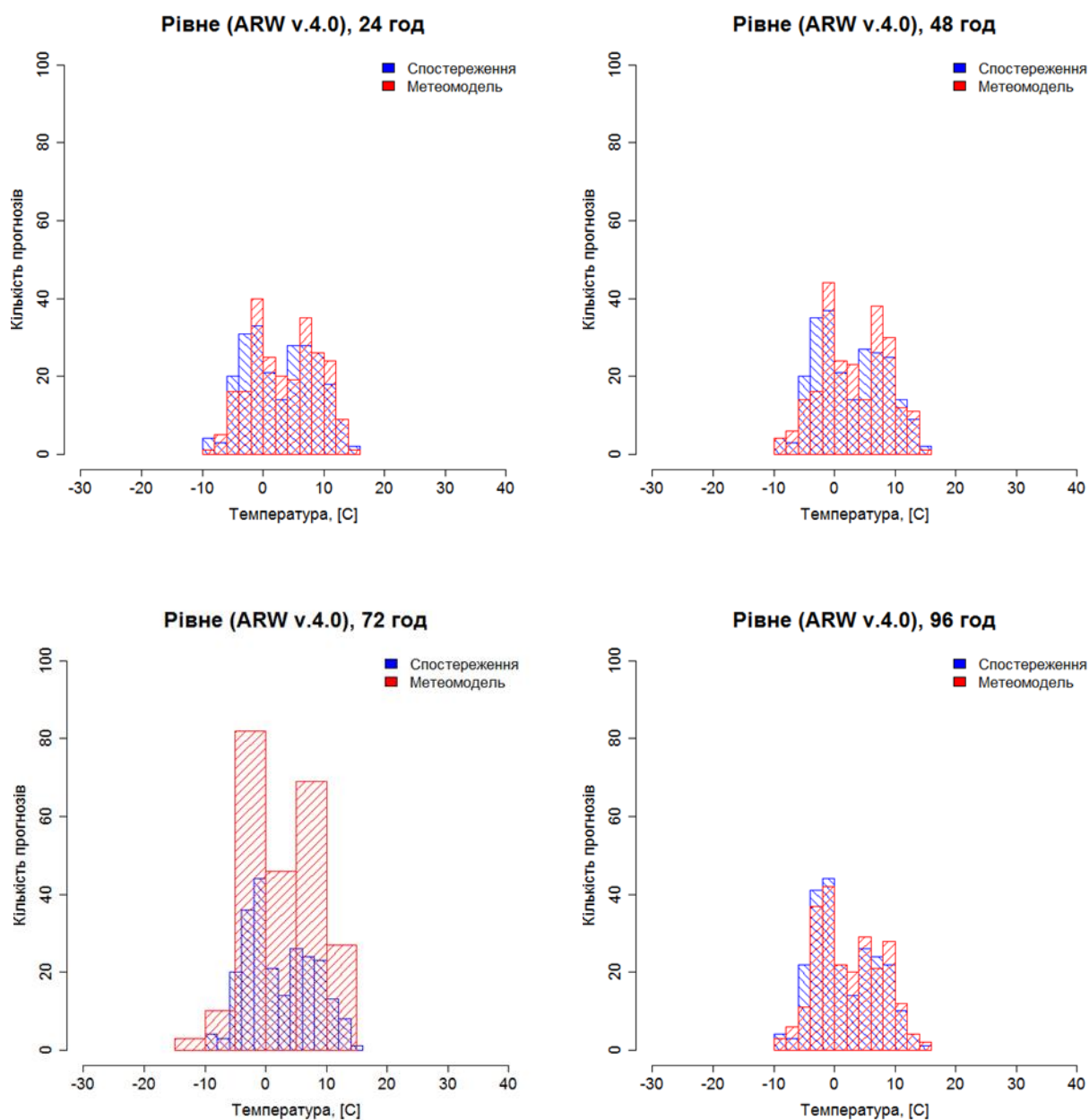


Рис. А.35 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, листопад 2023 р.

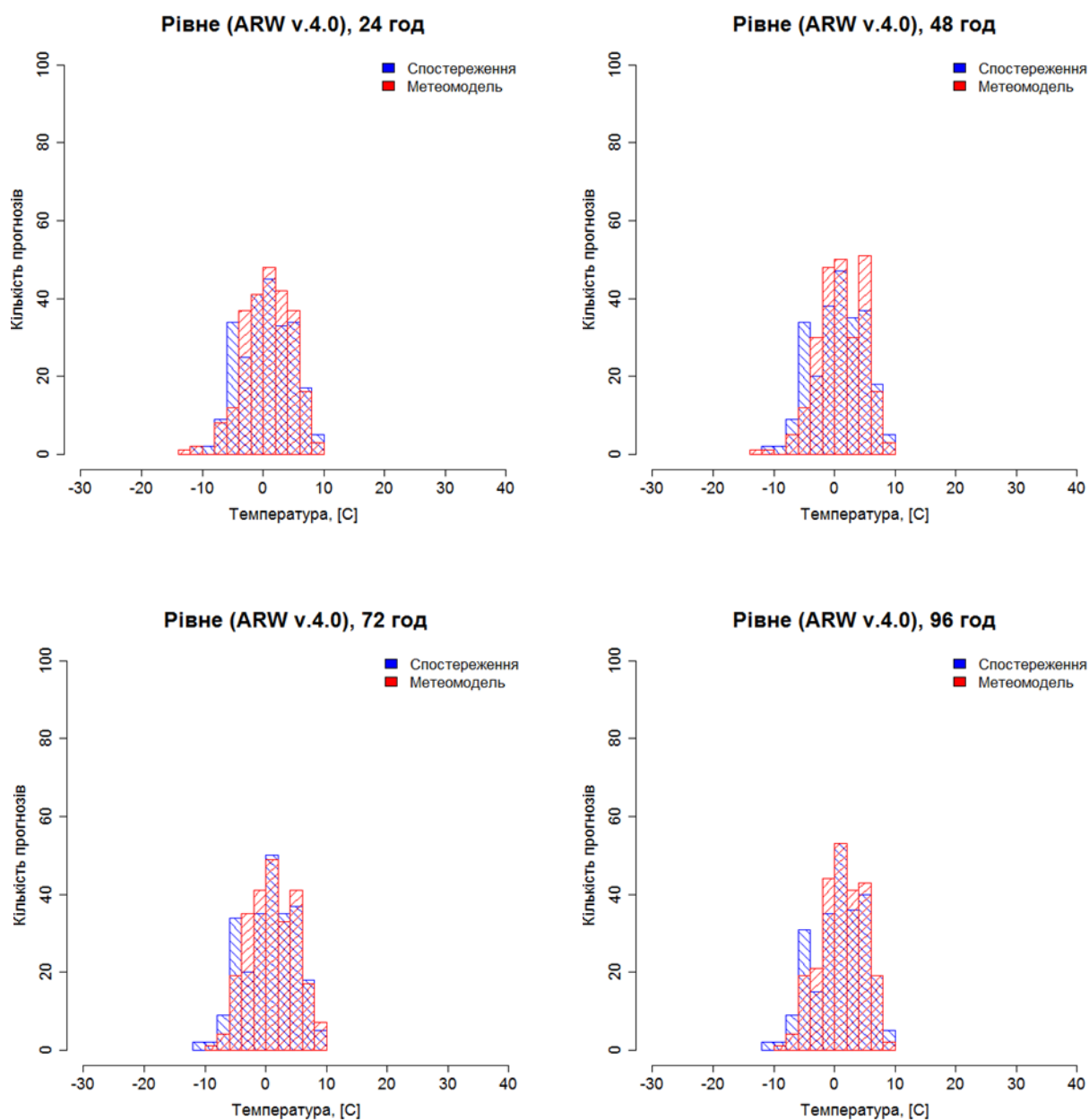


Рис. А.36 Диференційні розподіли прогнозованих та фактичних значень для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, грудень 2023 р.

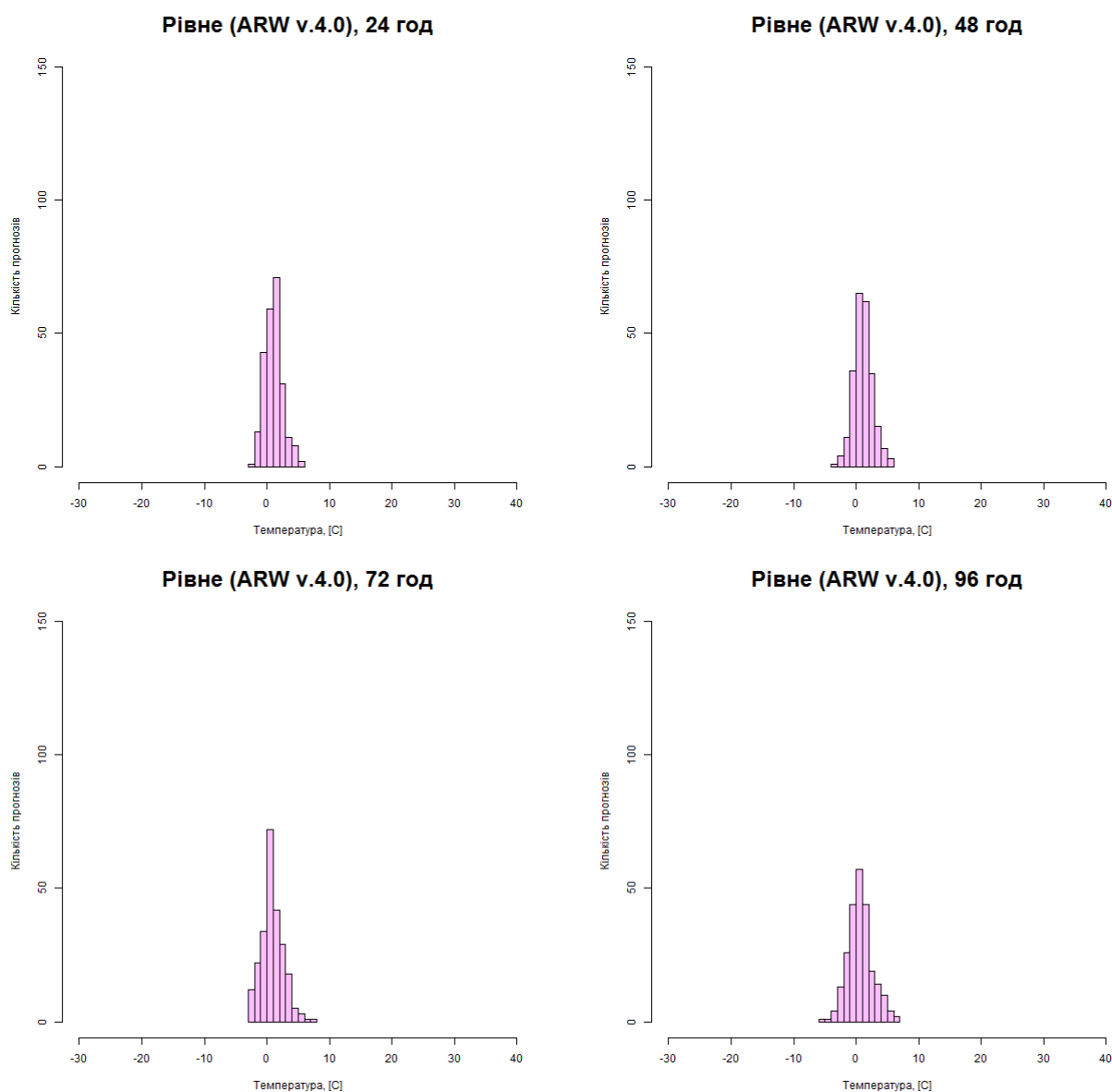


Рис. А.37 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, січень 2023 р.

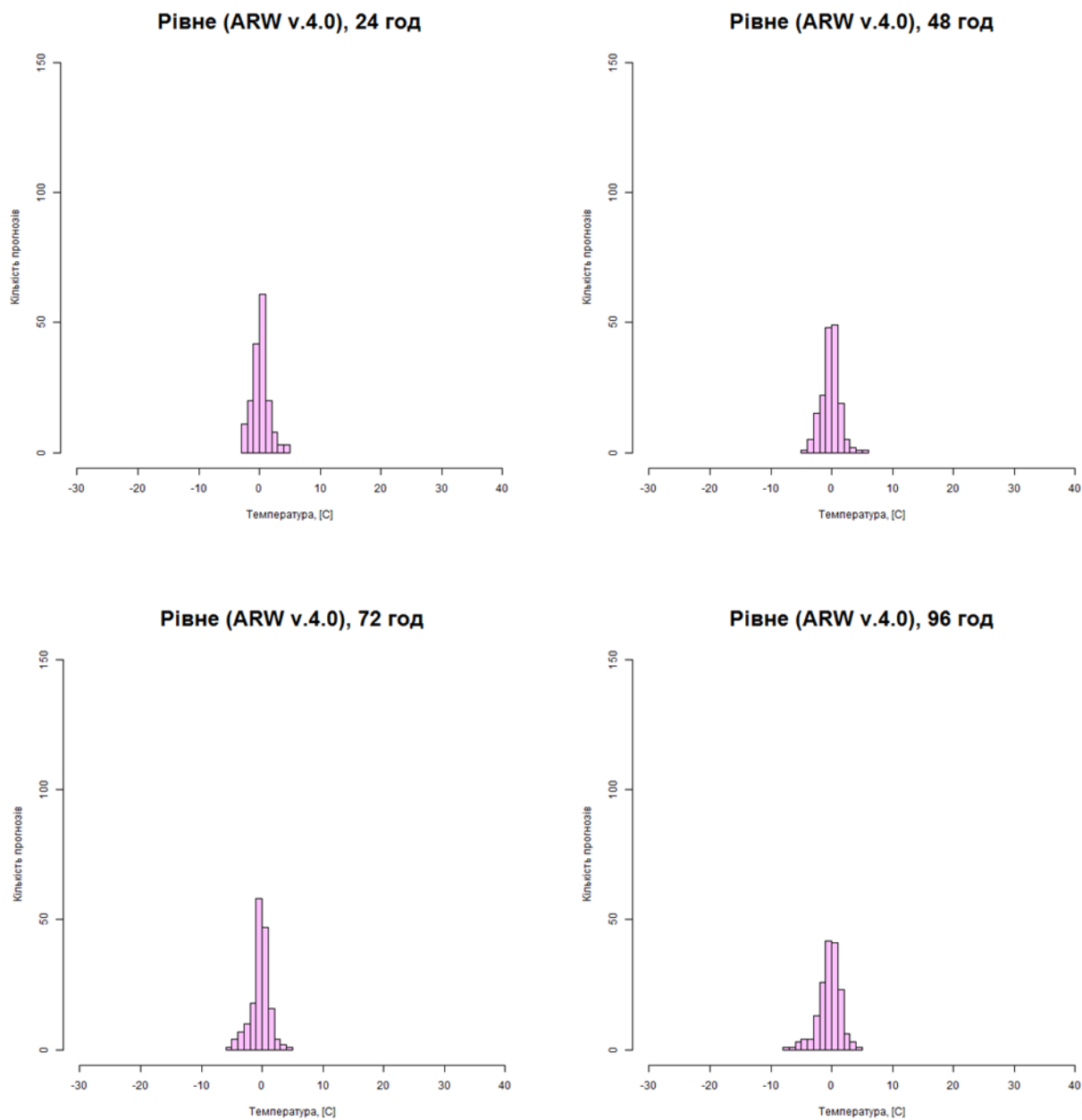


Рис. А.38 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, лютий 2023 р.

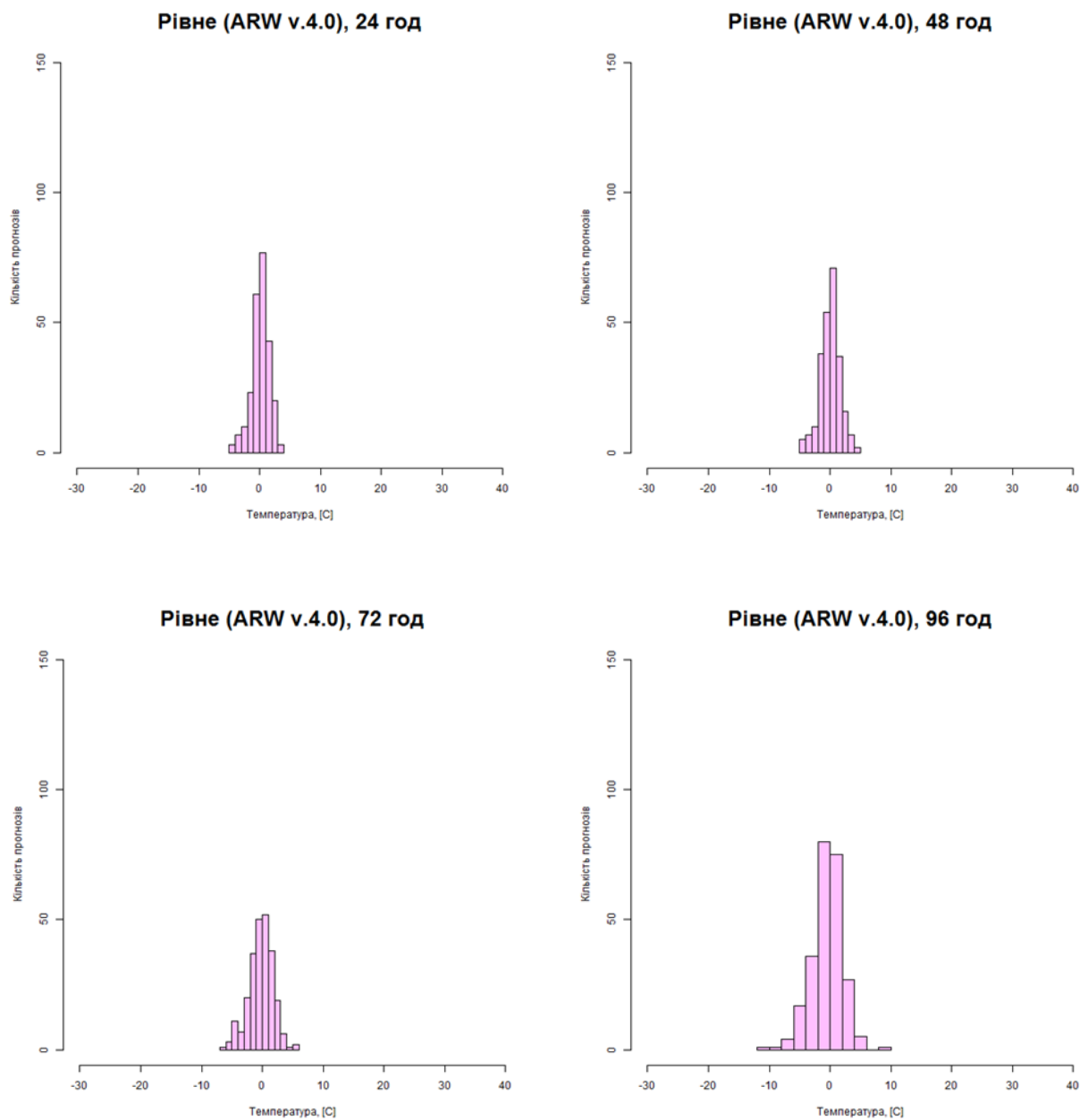


Рис. А.39 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, березень 2023 р.

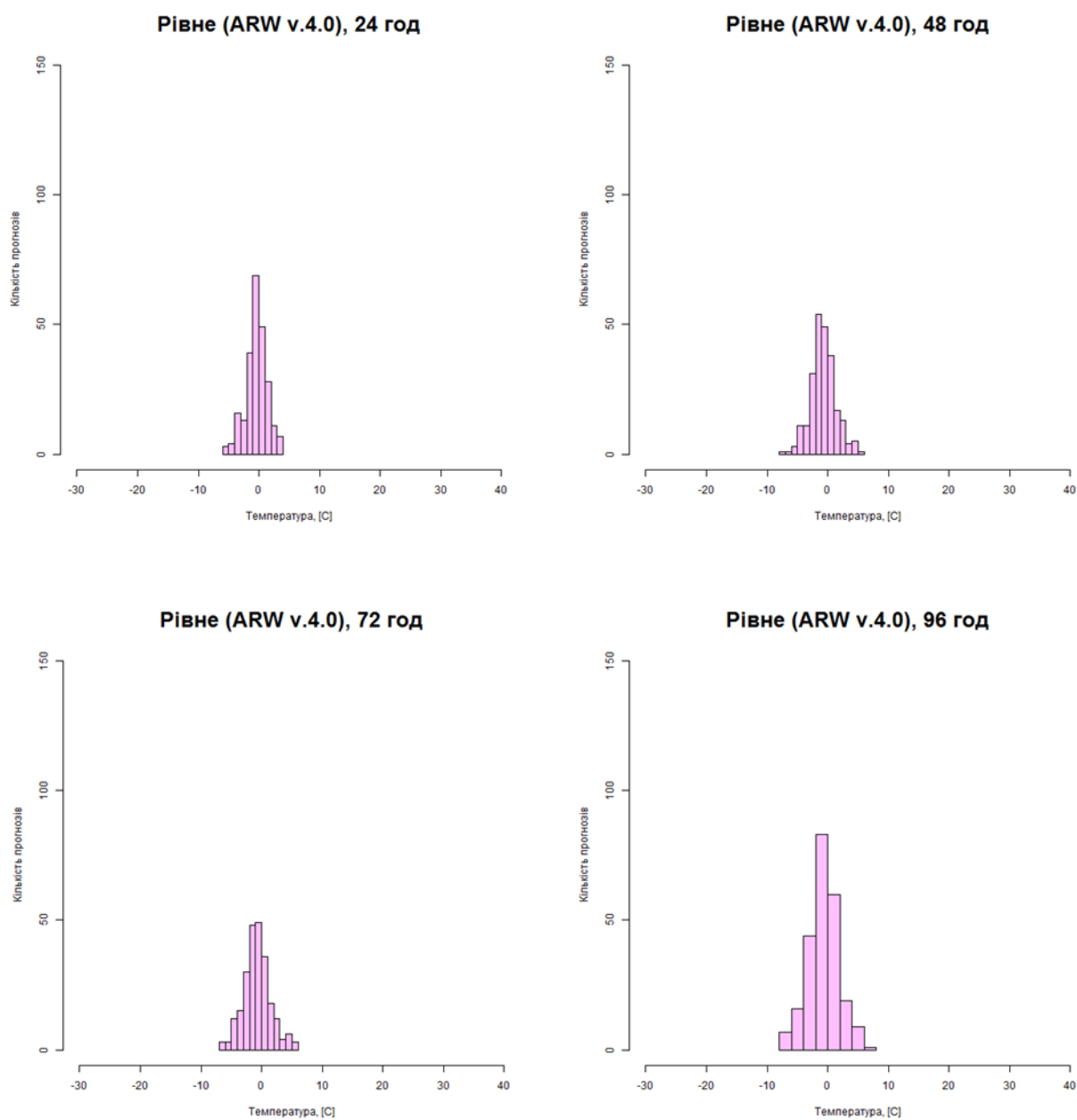


Рис. А.40 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, квітень 2023 р.

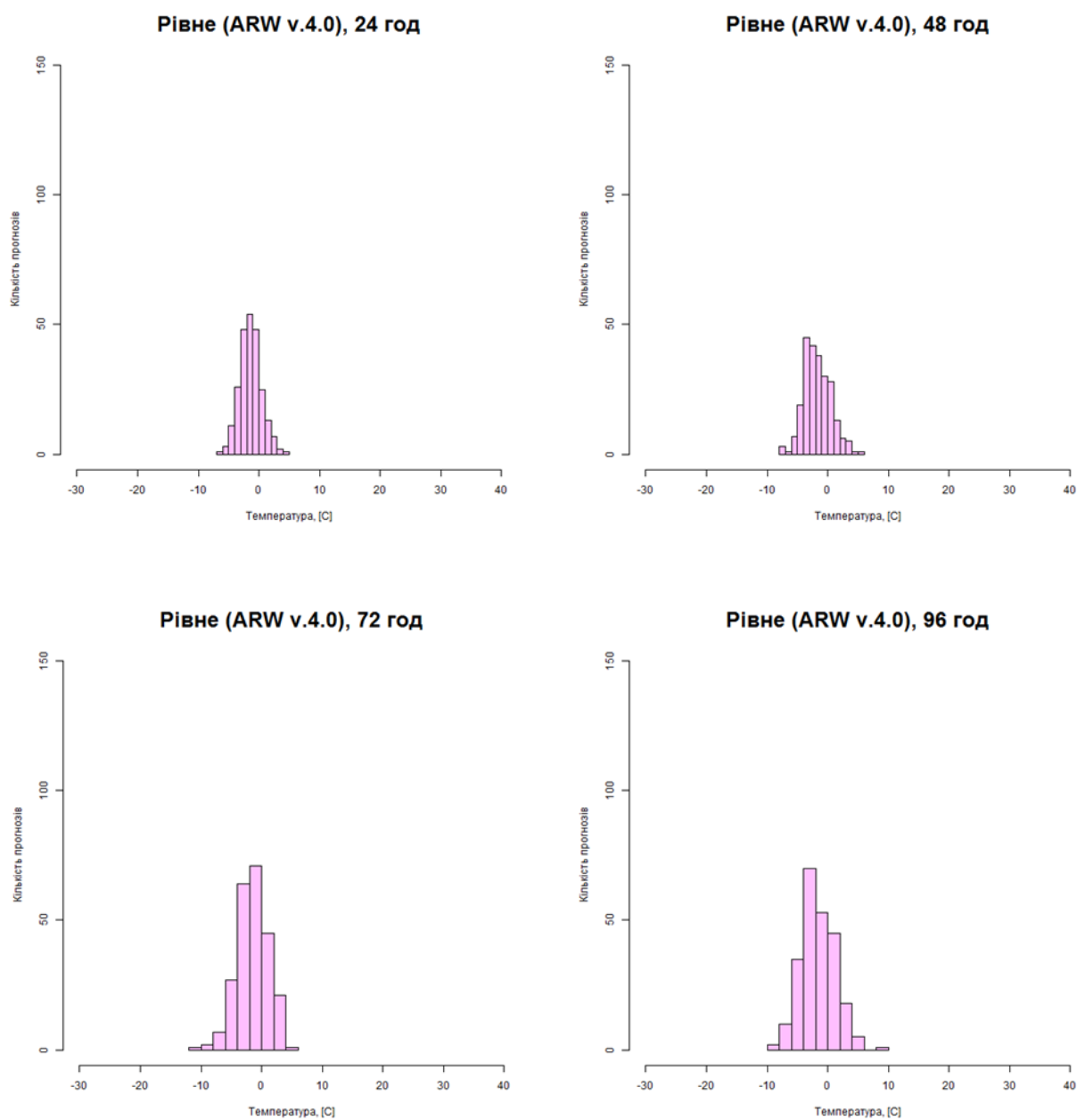


Рис. А.41 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, травень 2023 р.

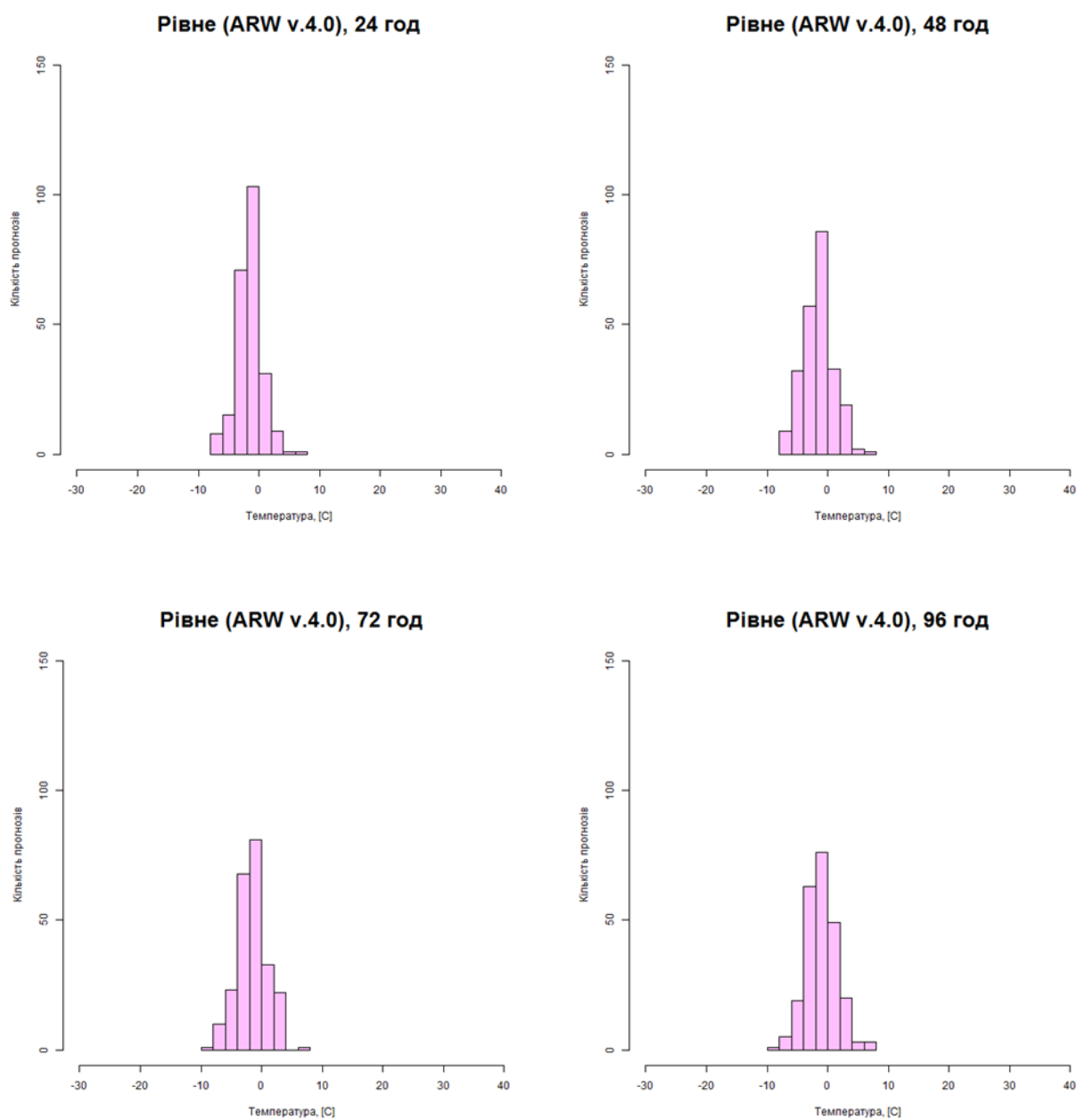


Рис. А.42 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, червень 2023 р.

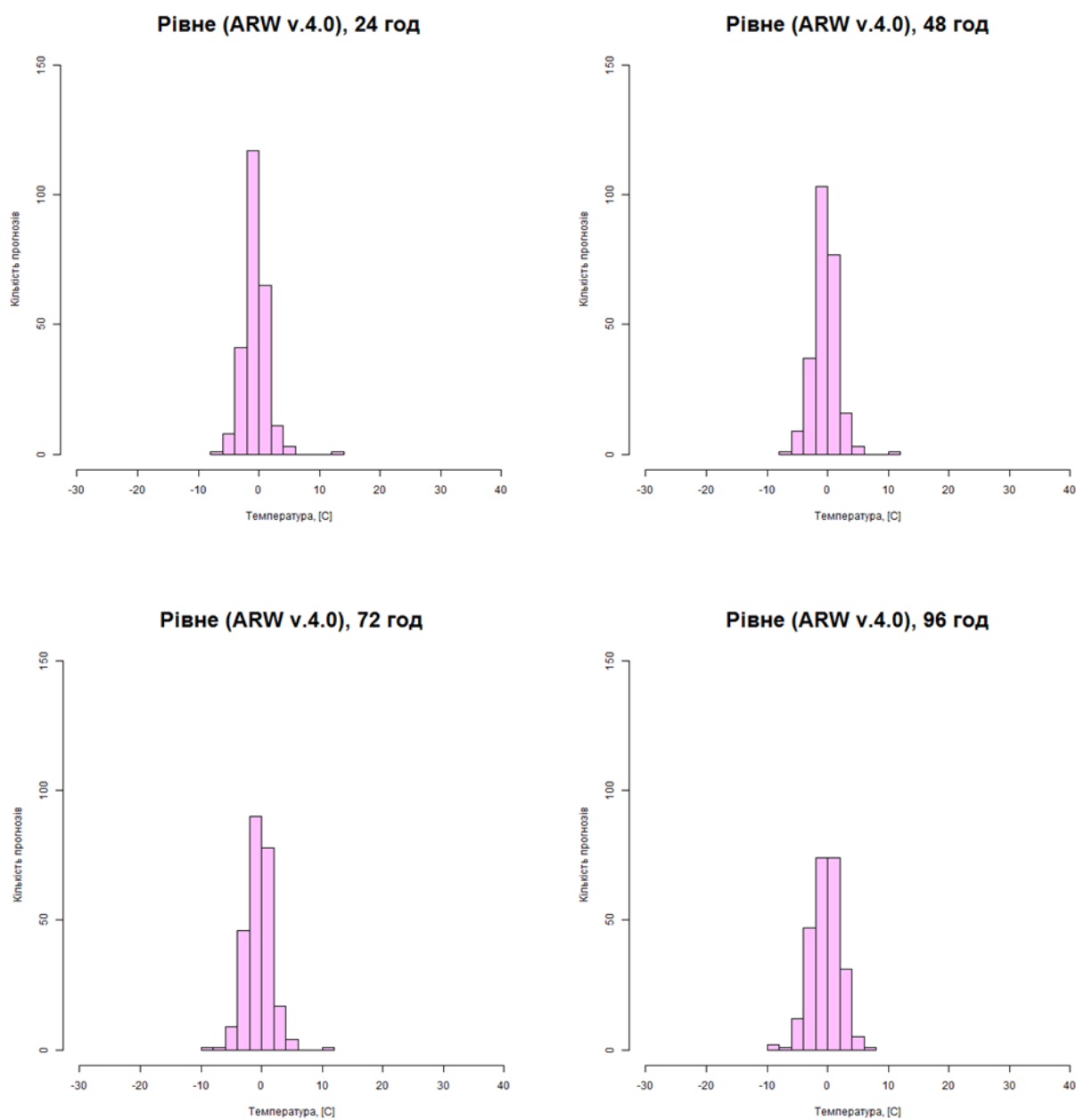


Рис. А.43 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, липень 2023 р.

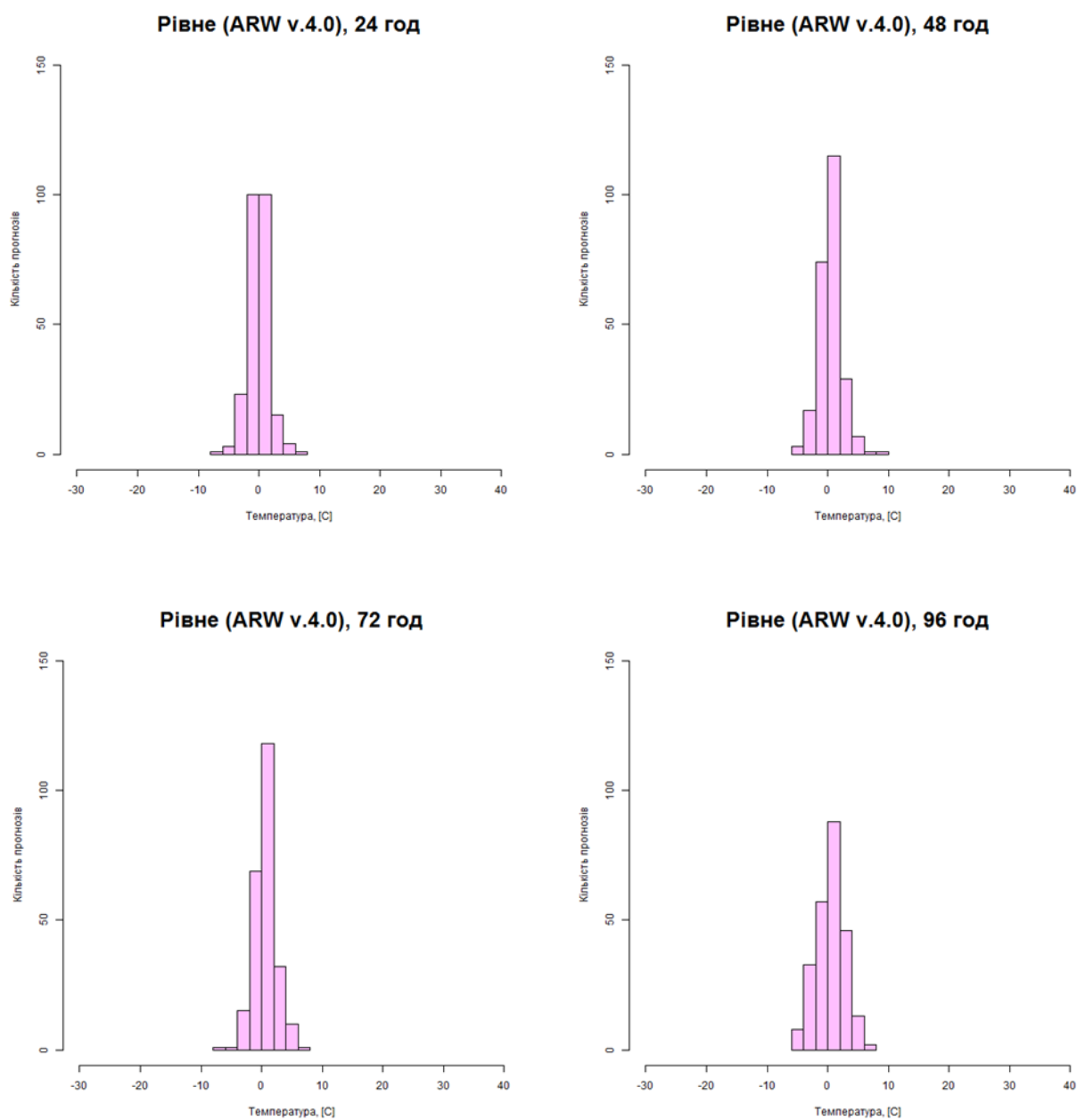


Рис. А.44 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, серпень 2023 р.

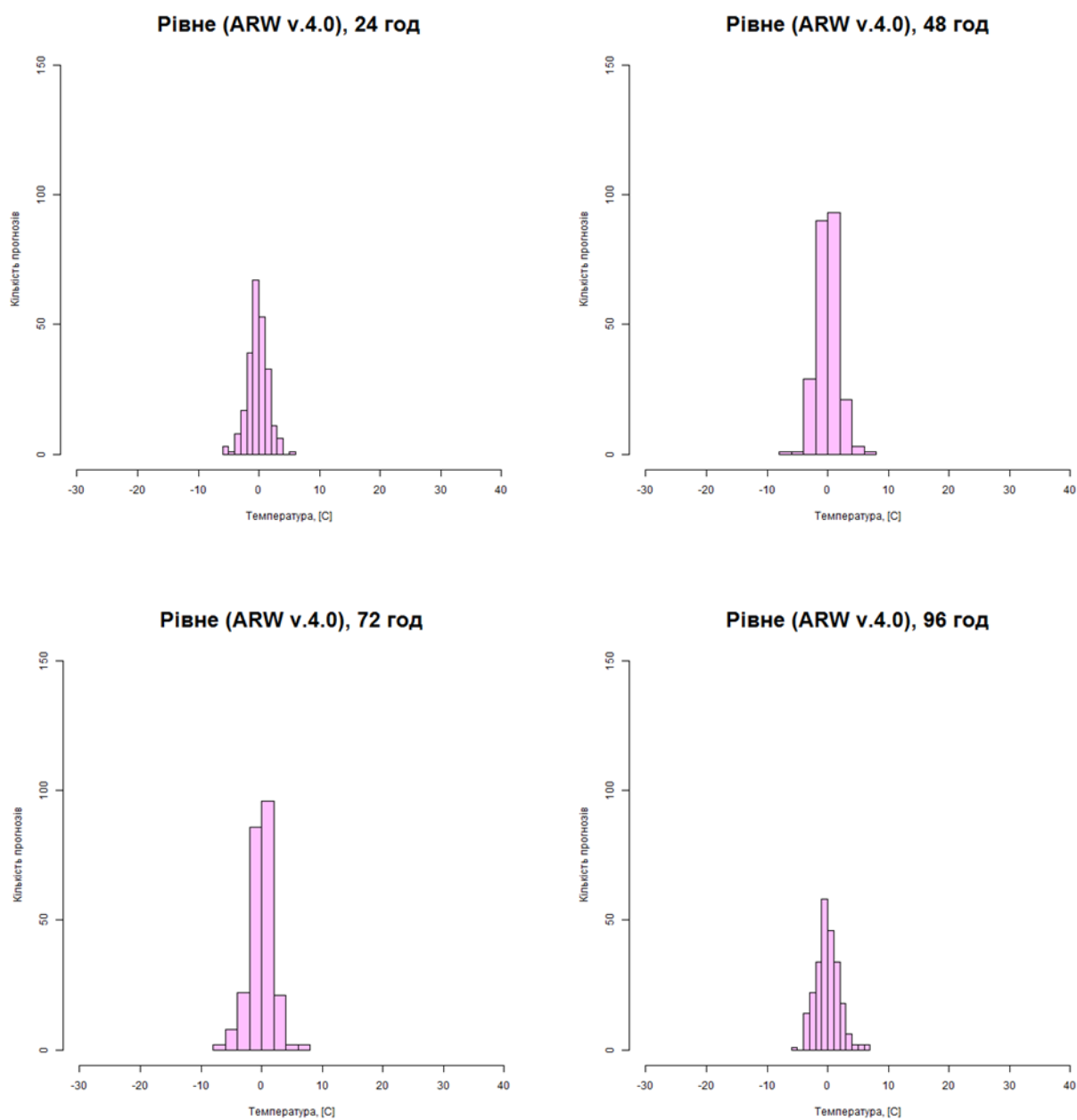


Рис. А.45 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, вересень 2023 р.

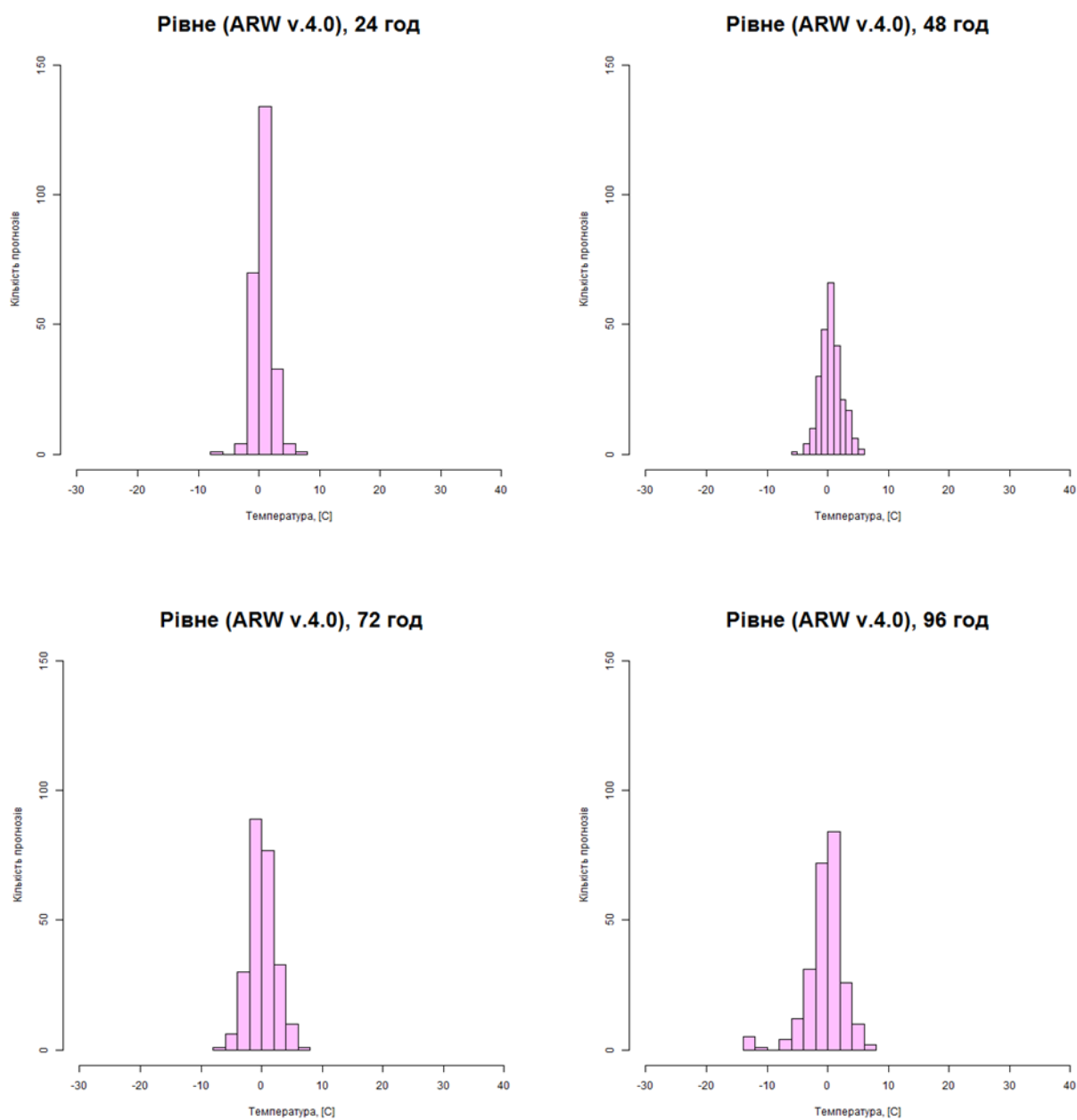


Рис. А.46 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, жовтень 2023 р.

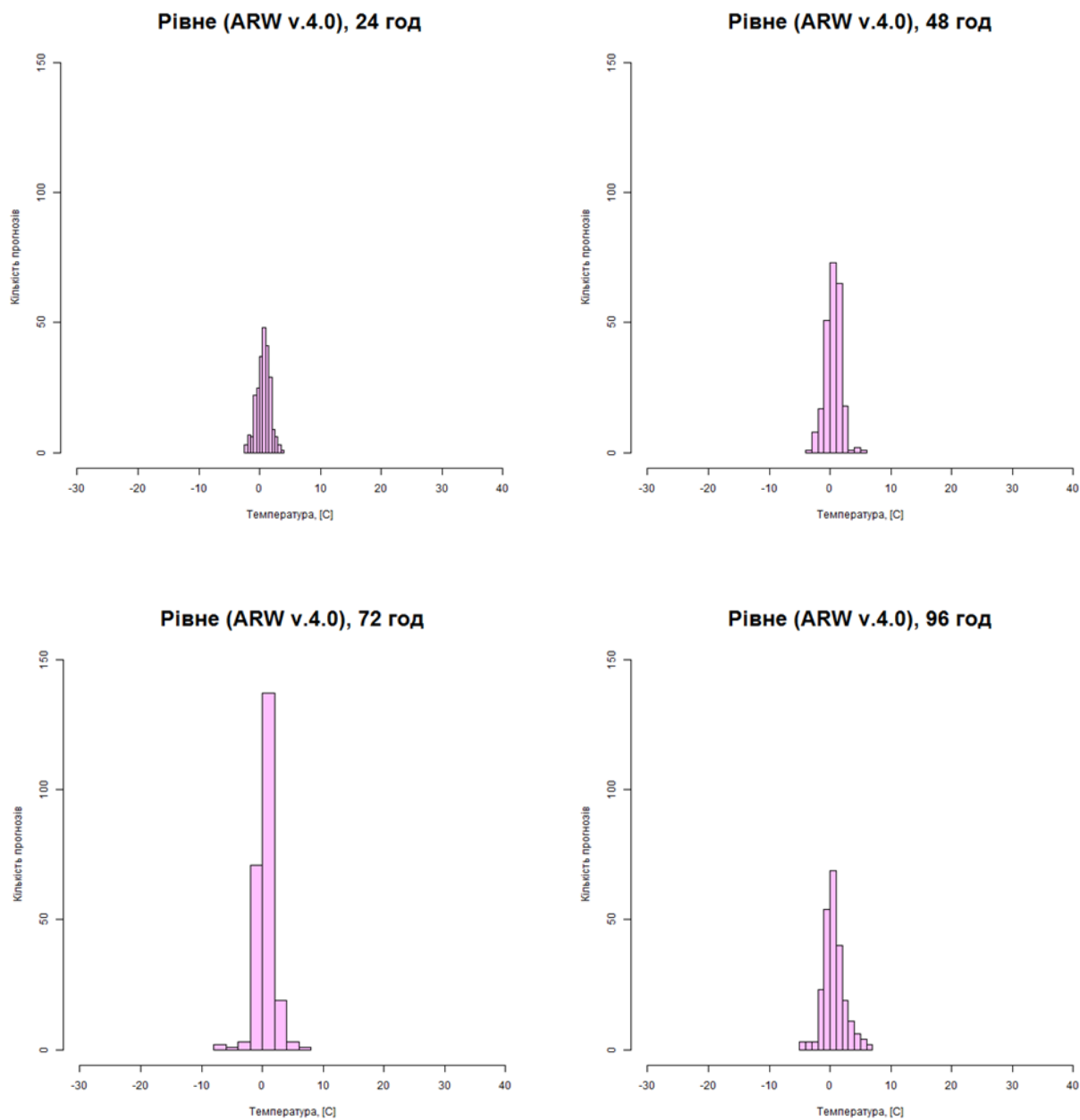


Рис. А.47 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, листопад 2023 р.

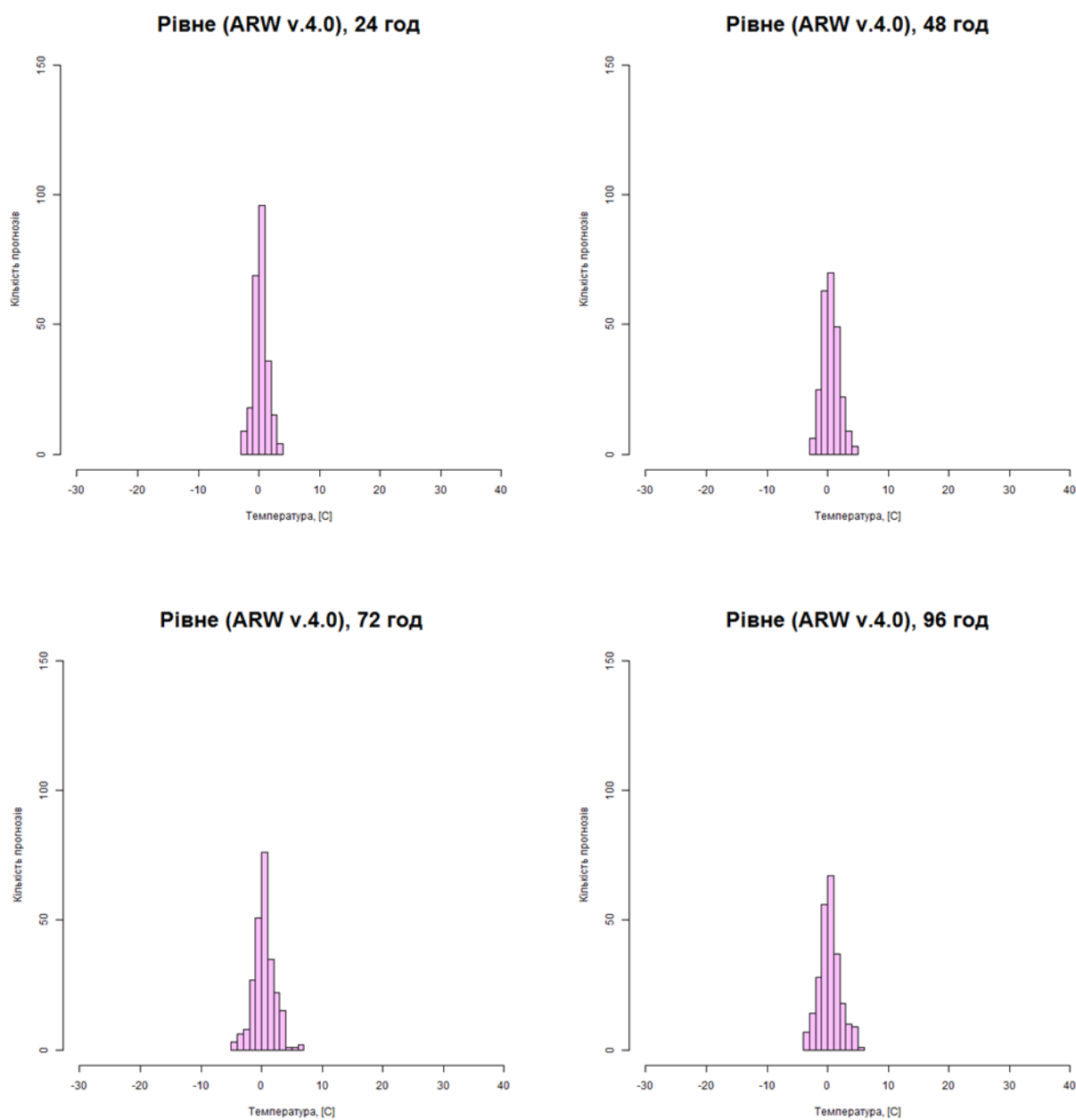


Рис. А.48 Диференційні розподіли помилок прогнозів для першої (24 год.), другої (48 год.), третьої (72 год.) та четвертої (96 год.) доби прогнозу, грудень 2023 р.

ДОДАТОК Б

Кількісні критерії точності прогнозів для м. Рівне у різні місяці 2023 р.

Таблиця Б.1 Значення критеріїв точності для першої доби прогнозів у різні місяці

Місяць	ME	MAE	RMSE	BIAS
1	1,11	1,38	1,78	2,32
2	0,19	1,08	1,42	1,39
3	0,19	1,09	1,44	1,04
4	-0,34	1,36	1,80	0,95
5	-1,31	1,81	2,21	0,90
6	-1,53	2,03	2,56	0,91
7	-0,60	1,53	2,08	0,96
8	-0,04	1,18	1,64	0,99
9	-0,19	1,23	1,63	0,98
10	0,74	1,30	1,70	1,06
11	0,65	1,02	1,25	1,22
12	0,36	0,91	1,20	1,89

Таблиця Б.2 Значення критеріїв точності для другої доби прогнозів у різні місяці

Місяць	ME	MAE	RMSE	BIAS
1	1.13	1.48	1.87	3.26
2	-0.15	1.08	1.49	-0.04
3	0.09	1.25	1.61	1.02
4	-0.69	1.70	2.19	0.90
5	-1.66	2.33	2.78	0.88
6	-1.54	2.34	2.89	0.91
7	-0.43	1.58	2.10	0.97
8	0.48	1.47	1.93	1.02
9	0.02	1.40	1.80	1.00
10	0.56	1.41	1.83	1.05
11	0.57	1.10	1.39	1.22
12	0.55	1.11	1.44	1.93

Таблиця Б.3 Значення критеріїв точності для третьої доби прогнозів у різні місяці

Місяць	ME	MAE	RMSE	BIAS
1	0,92	1,51	2,00	4,75
2	-0,31	1,15	1,60	-3,20
3	-0,19	1,53	2,00	0,95
4	-0,71	1,83	2,33	0,91
5	-1,49	2,38	2,96	0,89
6	-1,43	2,30	2,81	0,92
7	-0,48	1,64	2,23	0,97
8	0,60	1,49	1,96	1,02
9	-0,09	1,49	2,04	0,99
10	0,09	1,73	2,20	1,00
11	0,57	1,16	1,58	1,25
12	0,43	1,31	1,76	1,70

Таблиця Б.4 Значення критеріїв точності для четвертої доби прогнозів у різні місяці

Місяць	ME	MAE	RMSE	BIAS
1	0,67	1,59	2,09	6,58
2	-0,38	1,38	1,88	-0,40
3	-0,48	1,88	2,54	0,89
4	-0,67	1,99	2,60	0,92
5	-1,58	2,65	3,24	0,89
6	-1,00	2,20	2,72	0,94
7	-0,40	1,87	2,43	0,98
8	0,51	1,94	2,41	1,02
9	-0,03	1,50	1,92	0,99
10	-0,42	2,14	3,05	0,96
11	0,69	1,41	1,92	1,40
12	0,38	1,34	1,78	1,45