

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ

На правах рукопису

УДК 551.58:633.16

Кваліфікаційна робота магістра

Спеціальність 103 – Науки про Землю

Освітня програма «МЕТЕОРОЛОГІЯ»

**ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ВЕГЕТАЦІЙНОГО ПЕРІОДУ ТА
ПРОДУКТИВНОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ
У ЗАХІДНО-УКРАЇНСЬКОМУ ЛІСОСТЕПОВОМУ КРАЇ**

Виконала

студентка II курсу магістратури
кафедри метеорології та кліматології
Басіста Єва Костянтинівна

Науковий керівник

кандидат географічних наук
Круківська Алла Володимирівна

Робота рекомендується до захисту

Протокол № ____ засідання кафедри метеорології та кліматології
від «__» _____ 2020 р.

Завідувач кафедри метеорології та
кліматології

доктор географічних наук, професор
Сніжко Сергій Іванович

Київ–2021

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 83 с., 19 рис., 16 табл., 55 джерел.

Робота присвячена дослідженню тенденцій зміни умов тепло- і вологозабезпеченості території Західно-Українського лісостепоного краю у вегетаційний період та їх впливу на продуктивність ярого ячменю. Тема дослідження є актуальною і має важливе наукове і прикладне значення для підвищення ефективності використання агрокліматичних ресурсів у процесі адаптації сільськогосподарського виробництва регіону до зміни клімату.

Метою даного дослідження є визначення закономірностей зміни агрокліматичних умов вегетаційного періоду та їх впливу на формування продуктивності ярого ячменю на території Західно-Українського лісостепоного краю.

Основні завдання полягають у оцінці сучасного стану досліджень агрокліматичних ресурсів Західно-Українського лісостепоного краю; визначенні закономірностей багаторічної динаміки умов теплозабезпеченості території у вегетаційний період за сумами температур повітря рівних та вище 5, 10, 15°C; визначенні закономірностей багаторічної динаміки умов вологозабезпеченості території у вегетаційний період за запасами продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту; моделюванні та порівняльному аналізі показників продуктивності ярого ячменю за різних агрокліматичних умов.

Об'єкт дослідження – показники умов теплозабезпеченості та вологозабезпеченості у вегетаційний період і продуктивності ярого ячменю на території Західно-Українського лісостепоного краю

Предмет дослідження – закономірності зміни умов тепло- і вологозабезпеченості території Західно-Українського лісостепоного краю у вегетаційний період та їх вплив на динаміку продуктивності ярого ячменю.

Методи дослідження. Вирішення поставлених у роботі завдань здійснено з використанням методів математичної статистики, методів агрокліматичної обробки даних, методів математичного моделювання гідрометеорологічного режиму і продуктивності агроєкосистем, спеціалізованої програми моделювання продуктивності посівів сільськогосподарських культур AquaCrop.

За результатами дослідження поглиблено уявлення про регіональні особливості зміни агрокліматичних ресурсів на території України, зумовлені змінами клімату, та їх вплив на продуктивність ярого ячменю.

Ключові слова: агрокліматичні умови, теплозабезпеченість, вологозабезпеченість, модель AquaCrop, продуктивність посівів, ярий ячмінь.

ABSTRACT

Master's thesis: 83 p., 19 fig., 16 tabl., 48 references.

The Master's thesis is devoted to the investigation of tendencies of change of heat and moisture supply of the territory of Western-Ukrainian forest-steppe region during the vegetation period and the impact of agroclimatic conditions on the productivity of spring barley. The research topic is relevant and has important scientific and applied significance for the improving of the efficiency of agroclimatic resources using in the process of adaptation of agricultural production in the region to climate change.

The purpose of the research is to investigate the tendencies of change of the agroclimatic conditions of the growing season and their impact on the formation of spring barley productivity in Western Ukrainian forest-steppe region.

The main tasks are to analyze the current state of research of agroclimatic resources of Western Ukrainian forest-steppe region; to determine the regularities of long-term dynamics of heat supply conditions of the territory during the growing season by the sums of air temperatures equal to and above 5, 10, 15°C; to determine the regularities of long-term dynamics of moisture supply conditions of the territory in vegetation period by productive moisture stocks in a meter layer of soils; modeling and comparative analysis of spring barley productivity indicators under different agroclimatic conditions.

Object of the research—the indicators of heat supply and moisture supply conditions in the vegetation period and productivity of spring barley on the territory of Western Ukrainian forest-steppe region.

The subject of the research—the regularities of changes of heat and moisture supply conditions of the territory of Western Ukrainian forest-steppe region during the vegetation period and their impact on the dynamics of spring barley productivity.

Research methods. The solution of the tasks set in the work was carried out using methods of mathematical statistics, methods of agroclimatic data processing, methods of mathematical modeling of hydrometeorological regime and productivity of agroecosystems, and the specialized program for modeling of crop productivity AquaCrop.

According to the results, the study of the regional features of the agroclimatic resources change due to climate change and their impact on the productivity of spring barley in Ukraine is deepened.

Key words: agroclimatic resources, heat supply, moisture supply, AquaCrop model, crop productivity, spring barley.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ЗАХІДНО-УКРАЇНСЬКОГО ЛІСОСТЕПОВОГО КРАЮ.....	7
1.1. Загальна характеристика фізико-географічних умов території	7
1.2. Агрокліматичні ресурси Західно-Українського лісостепового краю	11
1.3. Основні тенденції зміни агрокліматичних ресурсів Західно- Українського лісостепового краю	15
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА БАГАТОРІЧНИХ ЗМІН УМОВ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ТА ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ТЕРИТОРІЇ У ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД	19
2.1. Зміни умов теплозабезпеченості у вегетаційний період	19
2.2. Багаторічні зміни запасів продуктивної вологи у ґрунті у вегетаційний період	34
РОЗДІЛ 3 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ЗАХІДНО-УКРАЇНСЬКОМУ ЛІСОСТЕПОВОМУ КРАЇ.....	44
3.1. Потреба ярого ячменю в агрометеорологічних чинниках	44
3.2. Оцінювання динаміки продуктивності ярого ячменю за моделлю AquaCrop.....	46
3.2.1. Теоретичні основи моделі та загальна розрахункова схема	46
3.2.2. Моделювання продуктивності ярого ячменю.....	50
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

ДОДАТКИ	66
---------------	----

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із основних викликів сьогодення в умовах глобальних і регіональних змін клімату є пошук шляхів адаптації сільськогосподарського виробництва, які дадуть змогу Україні зберегти лідируючі позиції у забезпеченні продовольчої безпеки та стійкого розвитку.

Оцінка змін агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на продуктивність агроценозів належить до першочергових завдань контексті розроблення і впровадження стратегій адаптації галузей рослинництва. Західно-Український лісостеповий край – це регіон з досить високим агровиробничим потенціалом. Тут вирощують зернові, зернобобові та технічні культури. Агрокліматичні умови території характеризуються, у цілому, достатньою вологозабезпеченістю та помірною теплозабезпеченістю, які зазнають міжрічних коливань та багаторічних змін на тлі змін клімату, що потребує поглибленого вивчення.

Ярий ячмінь є однією з найпоширеніших зернових культур у світі та в Україні за показниками посівних площ та обсягів виробництва поступається лише озимій пшениці. Станом на 2020 р. Україна займає третю позицію в топ-5 країн – найбільших експортерів ячменю на світовому ринку. Ячмінь надійно увійшов в експортний портфель держави та зайняв в ньому значну частку, генеруючи значний експортний прибуток. У зв'язку з цим, важливим завданням є оцінка впливу змін агрокліматичних умов на продуктивність посівів ярого ячменю в регіонах України з високим рівнем урожайності культури, до яких належить і Західно-Український лісостеповий край.

Метою дослідження є визначення закономірностей зміни агрокліматичних умов вегетаційного періоду та їх впливу на формування продуктивності ярого ячменю на території Західно-Українського лісостепоного краю.

Об'єкт дослідження – показники умов теплозабезпеченості та вологозабезпеченості у вегетаційний період і продуктивності ярого ячменю на території Західно-Українського лісостепового краю.

Предмет дослідження – закономірності зміни умов тепло- і вологозабезпеченості території Західно-Українського лісостепового краю у вегетаційний період та їх вплив на динаміку продуктивності ярого ячменю.

Завдання дослідження:

- провести аналіз сучасний стан досліджень особливостей просторово-часового розподілу і тенденцій зміни агрокліматичних ресурсів Західно-Українського лісостепового краю;

- визначити закономірності багаторічної динаміки умов теплозабезпеченості території у вегетаційний період за сумами температур повітря рівних та вище 5, 10, 15°C;

- визначити закономірності багаторічної динаміки умов вологозабезпеченості території у вегетаційний період за запасами продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту;

- на основі моделі FAO AquaCrop визначити показники продуктивності ярого ячменю і встановити закономірності їх зміни за різних агрокліматичних умов.

Матеріали та методика досліджень. Робота виконана з використанням методів математичної статистики, методів агрокліматичної обробки даних, методів математичного моделювання гідрометеорологічного режиму і продуктивності агроєкосистем, спеціалізованої програми FAO AquaCrop.

Для проведення досліджень використано дані метеорологічних і агрометеорологічних спостережень 13 гідрометеорологічних станцій: Броди, Кам'янка-Бузька, Рава Руська, Яворів (Львівська область); Бережани, Чортків, Кременець, Тернопіль (Тернопільська область); Ямпіль, Нова Ушиця, Шепетівка, Кам'янець Подільський, Хмельницький (Хмельницька область) за період 1961–2019 рр.

РОЗДІЛ 1 ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ЗАХІДНО-УКРАЇНСЬКОГО ЛІСОСТЕПОВОГО КРАЮ

1.1. Загальна характеристика фізико-географічних умов території

Із географічним положенням і ландшафтною структурою території пов'язані її природно-ресурсні властивості і агрокліматичний потенціал.

Західно-Український лісостеповий край територіально відповідає зоні широколистяних лісів і займає західну частину України, між Українськими Карпатами, мішанолісовою та лісостеповою зонами. Тут переважають ландшафти широколистянолісового типу [31].

Хмельницька, Тернопільська та Львівська адміністративні області займають більшу частину Західно-Українського лісостепового краю.

Рельєф краю формують Волинська (150–342 м), Подільська (116–440 м), Хотинська височини (350–400 м, г. Берда – 515 м), південно-східна частина Розточчя (240–400 м), Опілля (350–400 м). У рельєфі центральної частини краю виділяються скелясті вапнякові підняття – Товтри (Медобори), які мають абсолютну висоту від 50 до 350–430 м. Унікальними формами рельєфу є поверхневі та підземні карстові утворення: карри, лійки, понори, шахти та печери [15, 16, 17, 31].

Поверхня території розчленована (до глибини від 50–100 м до 150–200 м) густою річковою мережею; річки належать до басейнів Дністра, Південного Бугу, Прип'яті, Вісли [31].

Розчленованість рельєфу зумовлює контрасти у розподілі метеорологічних величин і відмінності режиму зволоження ґрунтів території. У долинах річок формуються своєрідні мікрокліматичні умови, сприятливі для вирощування теплолюбних культур.

Основними зональними типами *ґрунтів* є чорноземи типові та опідзолені і сірі лісові ґрунти, які сформувались на лесах та лесовидних суглинках. У різних фізико-географічних областях краю поширені також дерново-підзолисті, чорноземи типові малогумусні і слабогумусовані, лучні, лучно-болотні та болотні, перегнійно-карбонатні, торфово-болотні і торфяники та ін.[12, 18, 31, 35].

Чорноземи типові є найродючішими з усіх поширених у межах краю ґрунтів. Вони займають плато і пологі схили. Переважають малогумусні різновиди, в яких вміст гумусу становить 4–4,5%, і середньогумусні із вмістом гумусу близько 8%. Глибина гумусового горизонту досягає 80–90 см [12, 18, 35].

Чорноземи опідзолені утворились на вирівняних плато під лісовою і степовою рослинністю. Вони мають глибокий гумусовий горизонт – до 80–90 см, вміст гумусу складає 3,0–4,0%. Для підвищення родючості цих ґрунтів необхідно правильно організовувати сівозмін та вносити добрива[12, 18, 35].

У сірих і світло-сірих лісових ґрунтів, які займають горбисті та горбогірні ділянки, гумусовий горизонт має невелику товщину, а вміст гумусу дорівнює 1,5–2,2%. Ці ґрунти мають кислу реакцію. Для ефективного використання у землеробстві вони потребують вапнування та внесення добрив[12, 18, 35].

Темно-сірі опідзолені ґрунти приурочені до хвилястих і менш підвищених плато, пологих і спадистих схилів невисоких горбів. Вони інтенсивно використовуються у сільському господарстві, адже мають гумусовий горизонт товщиною від 55 см до 65 см і вміст гумусу близько 2,9–3,1%. Для покращення характеристик цього типу ґрунту варто вносити органічні та мінеральні добрива[12, 18, 35].

Дерново-підзолисті ґрунти найбільш на вміст гумусу – до 1,0–1,9%. Вони безструктурні і мають дуже високу кислотність, що обмежує їх сільськогосподарське використання[12, 18, 35].

У районах, де ґрунтові води підходять близько до поверхні, поширені лучні ґрунти. Вони мають глибокий гумусовий горизонт – 50–70 см, містять 4–5% гумусу і багато поживних речовин, але їх перезволоження призводить до оглеєння[12, 18, 35].

Лучно-болотні ґрунти також мають досить високий вміст гумусу, проте процеси оглеєння в них охоплюють всі шари ґрунту – аж до материнської породи[12, 18, 35].

До знижених форм рельєфу приурочені лучно-чорноземні ґрунти. За природною родючістю це найкращі ґрунти, на яких отримують високі врожаї овочевих культур та цукрових буряків[12, 18, 35].

Болотні ґрунти зустрічаються в знижених ділянках заплав. Вони характеризуються високою родючістю, але надмірне зволоження і анаеробні умови сповільнюють процеси мінералізації органіки і формують несприятливі умови для розвитку рослин. Використовувати в землеробстві їх можна лише після осушення[12, 18, 35].

Окремі ділянки займають перегнійно-карбонатні ґрунти. Вони мають високий вміст гумусу у верхньому горизонті (6%) і слаболужну реакцію ґрунтового розчину. Придатні для вирощування пшениці та цукрових буряків, але непридатні під плодові насадження[12, 18, 35].

У цілому, ґрунти Західно-Українського лісостепового краю сформувались в умовах достатнього і надмірного атмосферного зволоження (відношення кількості опадів до випаровуваності за рік коливається у межах 0,87–0,93) і характеризуються періодично-промивним типом водного режиму з повним весняним промочуванням [1, 10, 20].

Територія Західно-Українського лісостепового краю належить до області лісового атлантико-континентального помірно-теплого і

вологого *клімату*. Тут протягом року переважає перенесення повітряних мас з Атлантичного океану, трансформованих над материком у помірно-континентальні [20].

Зима малосніжна, нестійка, порівняно тепла. Літо тепле та помірно вологе. Середня температура повітря за рік коливається в межах 7,4–8,6°C. Середня температура повітря у січні становить -1,6 – -3,8°C, середня температура повітря у липні 18,5–19,9°C [20, 31].

Середня багаторічна кількість опадів за рік коливається від 627 до 694 мм. Найбільша річна кількість опадів досягає 1035–1094 мм, у посушливі роки зменшується до 317–373 мм. Майже 70 % від річної кількості опадів випадає у теплий період року [20, 31].

Перші осінні заморозки спостерігаються у першій–другій декаді жовтня, останні весняні – у другій–третьій декаді квітня. Середня кількість днів із заморозками у повітрі становить 5–12 днів, на поверхні ґрунту – 9–26 днів. Середня тривалість беззаморозкового періоду коливається у межах 160–186 днів, на поверхні ґрунту – у межах 141–170 днів [20].

Сніговий покрив утворюється, зазвичай, наприкінці листопада – на початку грудня, а руйнується впродовж березня. Загальна тривалість залягання снігового покриву за зиму коливається від 61 до 91 дня. Середня висота снігового покриву за зиму дорівнює 5–18 см, тоді як максимальна висота в окремі роки може досягати 55–58 см. В останні десятиріччя досить часто спостерігаються зими без стійкого снігового покриву або взагалі безсніжні [20].

Середня глибина промерзання ґрунту за зиму коливається від 13 см до 38 см. Максимальна глибина промерзання досягає 103-117 см. Середня із мінімальних температура ґрунту на глибині 3 см (глибина залягання вузла кущіння озимини) за зиму, залежно від типу ґрунту, становить -2,1 – -3,9°C. [20].

1.2. Агрокліматичні ресурси Західно-Українського лісостепового краю

Агрокліматичні ресурси – це сукупність речовини та енергії характеристик клімату, які засвоюються рослинними організмами і забезпечують утворення органічної біомаси [30, 32]. За іншим визначенням, агрокліматичні ресурси – це частина кліматичних ресурсів, що найістотніше впливає на об'єкти сільськогосподарського виробництва [20]. Агрокліматичні ресурси визначають спеціалізацію землеробства і рослинництва, склад і структуру сільськогосподарських об'єктів (посівні площі, видовий і сортовий набір сільськогосподарських культур), особливості систем землеробства, агрофітотехнологій, а також урожайність сільськогосподарських культур.

Оцінювання агрокліматичних ресурсів території та закономірностей їх часової динаміки є необхідною ланкою обґрунтування стратегій розвитку аграрного виробництва на різних територіальних рівнях його організації.

Дослідженню сучасних властивостей агрокліматичних ресурсів України присвячені роботи А. М. Польового, В. П. Дмитренка, Н. К. Строкач, З. А. Міщенко, Л. Ю. Божко, Г. В. Ляшенко, Т. А. Адаменко, М. І. Кульбиди, В. О. Балабух, О. А. Кривобока, О. О. Кривошеїна, О. В. Вольвач, О. О. Дронової, О. Л. Жигайло, О. Є. Ярмольської, Н. В. Кирнасівської, С. В. Свидерської, О. А. Барсукової, Л. А. Скриник, А. В. Круківської та ін.

За аналізом робіт, присвячених дослідженню агрокліматичних ресурсів території України, визначено їх основні характеристики для Західно-Українського лісостепового краю.

Тривалість теплового періоду (від квітня до жовтня) змінюється у межах 257–277 днів; за середньої тривалості 267 днів один раз на 10 років може досягати 296 днів і з такою ж повторюваністю – не перевищувати 241 дня (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Тривалість теплого періоду (дні) різної сумарної повторюваності у зоні широколистяних лісів (за [20, 32])

Середня	Коливання		Сумарна повторюваність, %						
	від	до	5	10	25	50	75	90	95
267	257	277	301	296	282	266	252	241	236

Вегетаційний період (між датами стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5°C навесні та восени) триває 216–228 днів, починається наприкінці березня – на початку квітня і закінчується наприкінці жовтня – на початку листопада (табл. 1.2). Сума ефективних температур повітря вище 5°C (табл. 1.3) коливається від 1716°C до 1926°C. Середня багаторічна кількість опадів за вегетаційний період становить 460 мм і в міжрічному ході змінюється у межах 423–508 мм (табл. 1.3). Відносна вологість повітря в цей період змінюється від 62–70% до 75–84%, а кількість днів із відносною вологістю повітря 30% та менше становить в середньому 3–15 днів, в окремі роки – 36-43 днів. З несприятливих агрометеорологічних явищ у вегетаційний період найчастіше спостерігаються посухи, зливи, град, сильний дощ, сильний вітер [15, 16, 17, 20, 31].

Таблиця 1.2

Дати початку, закінчення та тривалість вегетаційного періоду різної сумарної повторюваності у зоні широколистяних лісів (за [20, 32])

Середня	Коливання		Сумарна повторюваність, %						
	від	до	5	10	25	50	75	90	95
Дата початку вегетаційного періоду									
3.IV	1.IV	5.IV	17.III	22.III	2.III	3.IV	10.IV	15.IV	17.IV
Дата закінчення вегетаційного періоду									
30.X	29.X	3.XI	12.X	17.X	23.X	30.X	5.XI	13.XI	18.XI
Тривалість вегетаційного періоду, дні									
210	216	228	228	226	219	210	200	191	189

Таблиця 1.3

Сума ефективних температур повітря і кількість опадів за вегетаційний період різної сумарної повторюваності у зоні широколистяних лісів (за [20, 32])

Середня	Коливання		Сумарна повторюваність, %						
	від	до	5	10	25	50	75	90	95
Сума ефективних температур повітря, °С									
1860	1716	1926	2210	2128	1994	1897	1761	1666	1490
Кількість опадів, мм									
460	423	508	710	600	530	460	365	310	255

Період активної вегетації, який обмежується датами стійкого переходу середньої добової температури повітря через 10°C, в середньому триває 160 днів, в окремі роки може змінюватися від 136 до 187 днів (табл. 1.4). Цей період починається у другій–третьій декаді квітня і закінчується у третій декаді вересня – першій декаді жовтня. Середня багаторічна сума активних температур повітря вище 10°C становить 2500°C, середня багаторічна кількість опадів за період активної вегетації – 400 мм (табл. 1.5).

Таблиця 1.4

Дати початку, закінчення та тривалість періоду активної вегетації різної сумарної повторюваності у зоні широколистяних лісів (за [20, 32])

Середня	Коливання		Сумарна повторюваність, %						
	від	до	5	10	25	50	75	90	95
Дата початку періоду активної вегетації									
26.IV	21.IV	28.IV	12.IV	16.IV	21.IV	26.IV	18.V	6.V	10.V
Дата закінчення періоду активної вегетації									
2.X	1.X	7.X	17.IX	19.IX	24.IX	2.X	9.X	15.X	17.X
Тривалість періоду активної вегетації, дні									
160	159	169	187	180	171	160	149	141	136

Таблиця 1.5

Суми активних температур повітря і кількість опадів за період активної вегетації різної сумарної повторюваності у зоні широколистяних лісів (за [20, 32])

Середня	Коливання		Сумарна повторюваність, %						
	від	до	5	10	25	50	75	90	95
Сума активних температур повітря, °С									
2500	2373	2701	3000	2870	2658	2530	2401	2230	2100
Кількість опадів, мм									
400	333	420	620	530	465	400	310	265	215

Агрокліматичні ресурси за холодний період року мають важливе значення для сільськогосподарського виробництва. Вони визначають умови перезимівлі озимини, плодових дерев, виноградників, ягідників. Холодний період в зоні широколистяних лісів починається наприкінці другої – у третій декадах листопада, закінчується у першій – другій декаді березня. Тривалість холодного періоду коливається від 88 до 118 днів. Сума від’ємних температур повітря змінюється від -404°C до -277°C (табл. 1.6). За шкалою суворості зими П.І. Колоскова [20, 32], Західно-Український лісостеповий край відноситься до територій з м’якою зимою (сума від’ємних температур менше -500°C).

Таблиця 1.6

Сума від’ємних температур повітря ($^{\circ}\text{C}$) за холодний період року різної сумарної повторюваності в зоні широколистяних лісів (за [20, 32])

Середня	Коливання		Сумарна повторюваність, %						
	від	до	5	10	25	50	75	90	95
-400	-404	-277	-750	-700	-550	-400	-250	-100	-50

До несприятливих агрометеорологічних явищ холодного періоду року відносяться вимерзання, вимокання, випрівання, видування. Часто

спостерігаються відлиги, кількість днів з якими за період грудень–лютий коливається від 39 до 60. Значну повторюваність мають відлиги тривалістю більше ніж 5 днів поспіль; вони зумовлюють порушення зимового спокою озимини, що призводить до зниження морозостійкості рослин. Після тривалих відлиг за наявності снігового покриву існує значна ймовірність його руйнування, що за подальшого зниження температури повітря сприяє утворенню льодяної кірки на полях. Небезпечна для посівів льодяна кірка товщиною 10 мм і більше та тривалістю залягання 3 декади і більше спостерігається в 10-30% років [20, 32].

1.3. Основні тенденції зміни агрокліматичних ресурсів Західно-Українського лісостепового краю

Згідно з висновками вітчизняних кліматологів на території України протягом останніх десятиріч змijenлася середня, максимальна та мінімальна за сезон та рік температура повітря [3, 4, 13, 23, 33, 51]. За останні два десятиріччя середня за рік температура повітря в Україні підвищилася на $0,8^{\circ}\text{C}$ відносно стандартної кліматичної норми. За збереження широтного просторового розподілу середньої річної температури повітря, значення кожної ізотерми зросло на 1°C . Найбільш істотно зросла температура у літній та зимовий сезони, які стали теплішими на $1,3^{\circ}\text{C}$ та $0,9^{\circ}\text{C}$ відповідно. Швидкість підвищення температури повітря в Україні є більшою, ніж глобальної [4]. Проведені дослідження часової динаміки характеристик термічного режиму по десятиріччях показали, що на території України підвищення середньої річної температури повітря у середньому дорівнює $0,57^{\circ}\text{C}/10$ років. Найбільшим є зростання температури повітря у Степу та Східному Лісостепу – $0,6\text{--}0,7^{\circ}\text{C}/10$ років, дещо повільнішим у Центральному Лісостепу – $0,5\text{--}0,6^{\circ}\text{C}/10$ років, а в Поліссі та в зоні широколистяних лісів – $0,3\text{--}0,4^{\circ}\text{C}/10$ років [4].

Можна зробити висновок, що Західно-Український лісостеповий край відноситься до регіонів, де відбувається помітне підвищення температури повітря. Як і більшій частині території України, найсуттєвіше це проявляється у зимовий та літній сезони.

За аналізом результатів досліджень умов атмосферного зволоження [3, 22] встановлено, що кількість опадів на території України в останні десятиріччя і середньому не зменшилася (порівняно зі стандартною кліматичною нормою), спостерігається невеликий приріст (близько 2%). Однак при цьому посилюється тенденція до нерівномірного розподілу опадів упродовж року, що призводить до більшої кількості та інтенсивності надзвичайних явищ погоди (паводків та посух). Також спостерігається тенденція до розширення площ територій із недостатньою кількістю опадів (менше 400 мм) у теплий період.

Зменшується ефективність опадів внаслідок підвищення температури повітря і збільшення повторюваності зливого характеру випадання опадів. Як зазначено в роботах [2, 14], подальше підвищення температури ще на 1°C загрожує Україні зникненням і так невеликої за площею зони достатнього зволоження (до якої відноситься Полісся і Західно-Український лісостеповий край) і переходом цієї зони до нестійкого та недостатнього зволоження. Водночас, у роботах [22, 24, 34, 44, 53], у яких представлено прогностичні розрахунки змін поля опадів до 2100 р., зроблено висновок про очікуване збільшення місячних сум опадів у холодний період року у західному регіоні.

Відповідно до охарактеризованих тенденцій зміни кліматичних умов, у Західно-Українському лісостеповому краї відбуваються зміни агрокліматичних ресурсів та ступеню їх сприятливості для сільськогосподарського виробництва.

У роботах В.О. Балабух [3], Т.І. Адаменко [14], А.М. Польового [37] та ін. визначено, що підвищення середньої температури повітря зимових місяців сприяє підвищенню стабільності урожаїв озимих культур завдяки

зменшенню ризику вимерзання. Зменшення глибини промерзання ґрунту за зиму на 20–70 см сприяє ефективнішому накопиченню вологи у ґрунті на початок весни. Зимовий період скоротився майже на місяць і це створює умови для більш ранньої сівби ярих культур.

Позитивною є і тенденція до збільшення тривалості теплого періоду. У зоні широколистяних лісів цей приріст за останні десятиріччя становить 15–18 днів. Тривалість вегетаційного періоду (із середньою добовою температурою повітря 5°C і вище) збільшилась у середньому на 4–13 днів, а періоду активної вегетації (із середньою добовою температурою повітря 10°C і вище) – на 5–9 днів. Зросла і теплозабезпеченість вегетаційного періоду у Західно-Українському лісостеповому краї – до 150–180°C [2, 14].

Підвищення середньої температури повітря літніх місяців і сум активних і ефективних температур (як за міжфазні періоди розвитку рослин, так і за період вегетації у цілому) привело до суттєвого збільшення теплових ресурсів, що забезпечує можливість вирощування більшого спектру теплолюбних сільськогосподарських культур та пізньостиглих сортів різних культур [14].

Висновки про очікувані в майбутньому наслідки впливу змін клімату і агрокліматичних ресурсів на продуктивність агроценозів і урожайність сільськогосподарських культур у Західно-Українському лісостеповому краї теж, переважно, позитивні.

У роботі [37] виконано прогностичну оцінку зміни агрокліматичних умов у вегетаційний період на території України за різними сценаріями зміни клімату. Встановлено, що найбільші зміни термічних показників вегетаційного періоду в усіх фізико-географічних зонах очікуються за «м'яким» сценарієм GFDL-30%. За «помірним» сценарієм A1B у Західно-Українському лісостеповому краї прогнозується суттєве підвищення температури (за сценаріями A2, RCP4,5 та RCP8,5 зміни в температурному режимі даного регіону будуть менш суттєві). На основі аналізу результатів

розрахунків за різними кліматичними сценаріями показників вологозабезпеченості встановлено, що на період з 2021 по 2050 рр. очікуються найбільш різкі зміни умов зволоження в разі реалізації сценаріїв GFDL-30 %, A1B та A2. У разі реалізації сценаріїв змін клімату RCP4,5, RCP8,5 різкі зміни в кількості опадів не очікуються. Саме для західних регіонів країни прогнозується найбільша кількість опадів в середньому за рік та по сезонах.

Згідно з результатами моделювання фотосинтетичної продуктивності посівів ярого ячменю за сценарієм змін клімату GFDL-30% [38], до 2040 р. у західних регіонах України прогнозується більш інтенсивне формування площі асимілюючої поверхні в порівнянні з середніми багаторічними значеннями та зростання фотосинтетичного потенціалу посівів, за рахунок чого рівень урожаю загальної біомаси і коефіцієнт господарської ефективності теж зростатимуть. Зокрема, для ярого ячменю урожай сухої біомаси зерна буде вищий від середнього багаторічного на 11–25 %.

Таким чином, на сьогодні отримано вагомі результати щодо закономірностей формування і тенденцій зміни агрокліматичних ресурсів території Західно-Українського лісостепового краю. Водночас важливі складові цієї проблеми потребують подальшого поглибленого вивчення. Зокрема, актуальними є дослідження закономірностей багаторічної динаміки комплексних показників умов теплозабезпеченості (за сумами температур повітря) і вологозабезпеченості (за запасами продуктивної вологи у ґрунті), вегетаційного періоду, а також дослідження динаміки продуктивності посівів під впливом цих змін.

РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА БАГАТОРІЧНИХ ЗМІН УМОВ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ТА ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ТЕРИТОРІЇ У ВЕГЕТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД

2.1. Зміни умов теплозабезпеченості у вегетаційний період

Термічні умови є одним із основних чинників формування урожайності сільськогосподарських культур. Від термічного режиму повітря і ґрунту залежать базові процеси життєдіяльності рослин – ріст, розвиток, фотосинтез, дихання [36].

Оцінка теплозабезпеченості рослин протягом вегетаційного періоду може бути надана за такими показниками [32, 36]:

- середня добова температура повітря і ґрунту на початку та наприкінці вегетації;
- мінімальна і максимальна температура та інтервал оптимальних температур повітря і ґрунту;
- термічна крива впродовж вегетації;
- сума позитивних температур повітря за вегетаційний період;
- сума активних температур повітря;
- сума ефективних температур повітря;
- інтенсивність та повторюваність весняних і осінніх заморозків у порівнянні з показниками витривалості культур.

Для озимих і багаторічних культур оцінка доповнюється такими характеристиками як абсолютний мінімум температури повітря і поверхні ґрунту, середній із абсолютних річних мінімумів температури повітря, мінімальна температура ґрунту на глибині вузла кушіння [36].

Для оцінки теплових ресурсів вегетаційного періоду сільськогосподарських культур широко використовуються біологічні суми температур, суми активних температур, суми ефективних температур повітря

або ґрунту. Їх розраховують за періоди між датами переходу середньої добової температури повітря через 5, 10, 15°C. Ці дати характеризують відповідно: початок і завершення вегетаційного періоду сільськогосподарських культур (перехід через 5°C), початок і завершення періоду активної вегетації (перехід через 10°C), початок і завершення періоду вегетації теплолюбних культур (перехід через 15°C). Суми температур можуть бути визначені як у цілому за вказані періоди (послідовно, накопиченим наслідком з декадним часовим інтервалом), так в окремі міжфазні періоди розвитку рослин [36].

Біологічна сума температур – сума середніх добових температур повітря за період вегетації сільськогосподарської культури від початку її росту до дозрівання. *Сума активних температур* – показник, пропорційний кількості тепла, виражений сумою середніх добових температур повітря або ґрунту, що перевищують біологічний мінімум температури, встановлений для певного періоду розвитку рослин; найчастіше суму активних температур визначають за період із середньою добовою температурою вище 10°C. *Ефективна температура* – це різниця між середньою добовою температурою і біологічним нулем певної культури. Сума ефективних температур повітря розраховується накопиченим наслідком за вегетаційний період [36].

У даній роботі для агрокліматичної оцінки умов теплозабезпеченості Західно-Українського Лісостепового краю у вегетаційний період застосовано суми температур повітря рівних та вище 5°C, суми активних температур повітря рівних та вище 10°C і суми температур повітря рівних та вище 15°C.

У якості вхідних даних для розрахунків використано щодакдні дані по сумах температур повітря *рівних та вище* (далі по тексту «вище») 5, 10, 15°C 13 гідрометеорологічних станцій, розташованих у межах 3 адміністративних областей (Львівської: *Броди, Кам'янка-Бузька, Рава Руська, Яворів*; Тернопільської: *Бережани, Чортків, Кременець, Тернопіль*; Хмельницької:

Ямпіль, Нова Ушиця, Шепетівка, Хмельницький, Кам'янець Подільський) за період 1961–2019 рр.

Щорічне сумарне за вегетацію значення сум температур повітря вище 5, 10 і 15°C розраховано накопиченим наслідком за щодаєкадними значеннями.

Статистична обробка часових рядів сум температур повітря вище 5, 10, 15°C полягала у визначенні основних параметрів описової статистики: середніх багаторічних значень, середнього квадратичного відхилення, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу. Результати розрахунків представлено у табл. 2.1.–2.3. Для оцінки наближення закону розподілу вибіркової сукупності до нормального закону розподілу здійснено побудову гістограм (Додатки А.1–А.3). Розрахунки проведено з використанням пакетів прикладних програм Ехсєлта STATISTICA.

Згідно з даними, табл. 2.1–2.3, а також гістограм розподілу щорічних сум температур повітря вище 5°C за вегетаційний період (Додаток А.1), розподіл вибіркової сукупності близький до теоретичного нормального розподілу, з переважно правосторонньою асиметрією (на відміну від емпіричних розподілів сум температур вище 10°C і вище 15°C, для яких характерна лівостороння асиметрія (Додатки А.2–А.3).

Середні багаторічні суми температур повітря вище 5°C на території Західно-Українського лісостепоного краю змінюються у межах 2930–3221°C і є найбільшими у південно-східній частині регіону. Коефіцієнт варіації по території змінюється неістотно і в середньому дорівнює 8%. За досліджуваний період найменші суми температур вище 5°C були накопичені у періоди вегетації 1965 р., 1978 р. і 1980 р. (2335–2702°C), а найбільша сума температур спостерігалась у вегетаційний період 2012 р. (3483–3850°C).

Середні багаторічні суми температур повітря вище 10°C по території змінюються від 2547°C до 2818°C (зростаючи на південний схід); середнє

квадратичне відхилення коливається у межах $246\text{--}282^\circ\text{C}$; коефіцієнт варіації становить $10\text{--}11\%$.

Таблиця 2.1.

Сума температур повітря (°C) за періоди із середньодобовою температурою рівною та вище 5°C, 10°C, 15°C
(Львівська область)

Температурні межі	Середня багаторічна сума температур повітря (ΣT , °C)	Середнє квадратичне відхилення (σ , °C)	Найбільша сума температур/рік	Найменша сума температур/рік	Коефіцієнт варіації (C_v , %)	Коефіцієнт асиметрії (A_s)	Коефіцієнт ексцесу (E_k)
Броди							
$\geq 5^\circ$	3057	245	3547(2012)	2585(1980)	8,01	0,14	-0,83
$\geq 10^\circ$	2647	273	3264(2012)	1918(1980)	10,32	-0,19	-0,11
$\geq 15^\circ$	1781	415	2659(2012)	828(1984)	23,30	-0,14	-0,48
Кам'янка-Бузька							
$\geq 5^\circ$	3064	237	3545 (2012)	2597 (1980)	7,73	0,09	-0,85
$\geq 10^\circ$	2630	266	3054 (2016)	1936 (1980)	10,11	-0,32	-0,41
$\geq 15^\circ$	1771	409	2661 (2012)	907 (1984)	23,11	0,01	-0,69
Рава Руська							
$\geq 5^\circ$	2997	242	3483 (2012)	2489 (1980)	8,06	0,10	-0,77
$\geq 10^\circ$	2557	261	2986 (2016)	1846 (1980)	10,20	-0,31	-0,25
$\geq 15^\circ$	1669	413	2627 (2012)	861 (1984)	24,76	0,13	-0,64
Яворів							
$\geq 5^\circ$	3050	251	3533 (2012)	2561 (1980)	8,23	0,18	-0,89
$\geq 10^\circ$	2627	282	3138 (2013)	1812 (1980)	10,75	-0,39	-0,09
$\geq 15^\circ$	1747	422	2577 (2012)	863 (1984)	24,15	-0,12	-0,81

Таблиця 2.2

Сума температур повітря (°C) за періоди із середньодобовою температурою рівною та вище 5°C, 10°C, 15°C
(Тернопільська область)

Температурні межі	Середня багаторічна сума температур повітря ($\overline{\Sigma T}$, °C)	Середнє квадратичне відхилення (σ , °C)	Найбільша сума температур/рік	Найменша сума температур/рік	Коефіцієнт варіації (C_v , %)	Коефіцієнт асиметрії (A_s)	Коефіцієнт ексцесу (E_k)
Бережани							
≥5°	2996	242	3544 (2012)	2335 (1980)	8,07	-0,06	-0,08
≥10°	2594	251	3009 (2009)	1907 (1980)	9,66	-0,30	-0,15
≥15°	1753	394	2664 (2012)	909 (1976)	22,51	-0,09	-0,46
Чортків							
≥5°	3092	236	3666 (2012)	2561 (1980)	7,65	0,06	-0,65
≥10°	2687	265	3157 (2016)	1932 (1980)	9,86	-0,09	0,34
≥15°	1909	395	2763 (2012)	1100 (1984)	20,69	-0,11	-0,75
Кременець							
≥5°	2930	240	3572 (2012)	2615 (1980)	8,20	0,13	-0,68
≥10°	2547	257	3365 (1967)	1957 (1980)	10,10	-0,20	-0,10
≥15°	1747	387	2701 (2012)	1062 (1980)	22,16	-0,029	-0,86
Тернопіль							
≥5°	3061	241	3493 (2012)	2460 (1980)	7,88	0,16	-0,23
≥10°	2663	263	3066 (2016)	1852 (1980)	9,86	-0,23	-0,13
≥15°	1880	394	2469 (2012)	955 (1980)	20,98	0,18	-0,63

Таблиця 2.3

Сума температур повітря (°C) за періоди із середньодобовою температурою рівною та вище 5°C, 10°C, 15°C
(Хмельницька область)

Температурні межі	Середня багаторічна сума температур повітря (ΣT , °C)	Середнє квадратичне відхилення (σ , °C)	Найбільша сума температур/рік	Найменша сума температур/рік	Коефіцієнт варіації (C_v , %)	Коефіцієнт асиметрії (A_s)	Коефіцієнт ексцесу (E_k)
Ямпіль							
≥5°	2962	238	3517 (2012)	2496 (1965)	8,02	0,21	-0,36
≥10°	2580	255	3084 (2016)	1884 (1978)	9,88	-0,33	0,31
≥15°	1834	384	2494 (2012)	1077 (1984)	20,94	-0,14	-1,02
Нова Ушиця							
≥5°	3143	239	3797 (2012)	2667 (1978)	7,60	0,32	0,03
≥10°	2746	252	3315 (2012)	2216 (1978)	9,17	0,15	-0,64
≥15°	2050	403	3135 (2012)	1293 (1980)	19,66	0,06	-0,33
Шепетівка							
≥5°	2979	240	3505 (2012)	2499 (1965)	8,06	0,09	-0,41
≥10°	2610	279	3273 (1967)	1902 (1978)	10,68	-0,12	0,28
≥15°	1861	399	2589 (1963)	1088 (1984)	21,45	-0,18	-1,02
Хмельницький							
≥5°	3007	227	3572 (2012)	2561 (1965)	7,56	7,56	-0,28
≥10°	2622	246	3133 (2016)	1954 (1978)	9,36	9,36	0,41
≥15°	1877	390	2528 (2012)	1161 (1987)	20,78	8,11	-1,19
Кам'янець Подільський							
≥5°	3221	244	3850 (2012)	2702 (1978)	7,57	0,24	-0,15
≥10°	2818	257	3436 (2012)	2348 (1980)	9,13	0,33	-0,29
≥15°	2127	404	3152 (2012)	1317 (1976)	18,99	-0,01	-0,43

Найменшими суми активних температур повітря були у вегетаційні періоди 1978 р. і 1980 р. (1812–2348°C), а найбільшими – у 1967 р., 2009 р., 2012 р., 2013 р., 2016 р. (2986–3436°C). Отже, позитивні відхилення переважають в останні два десятиріччя.

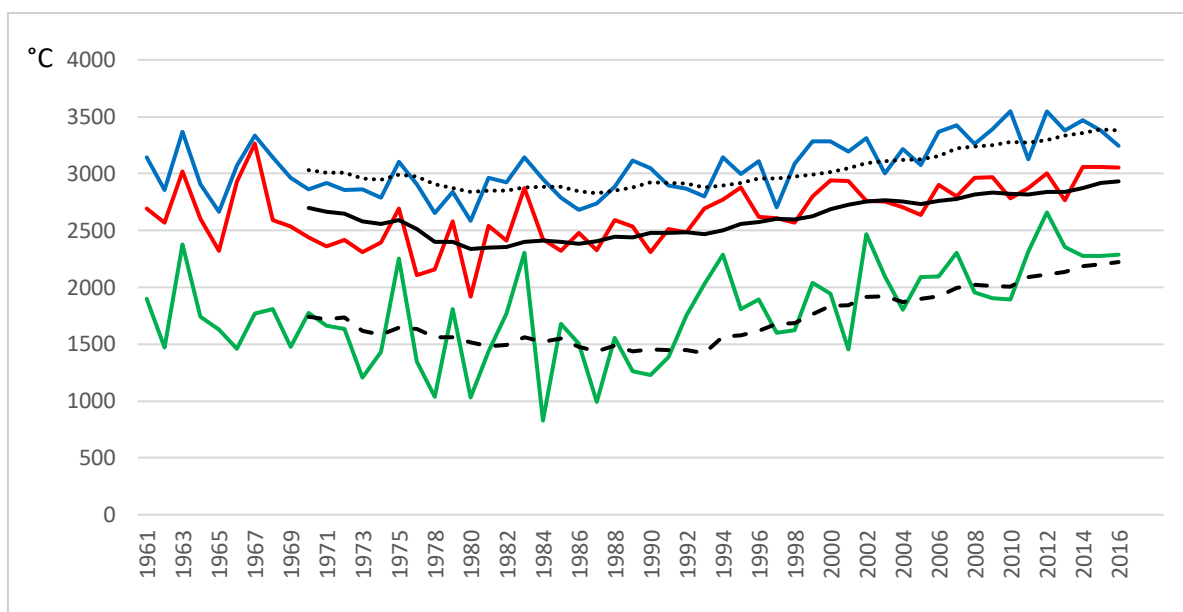
Середні багаторічні суми температур повітря вище 15°C, які є важливими показниками для районування сортів теплолюбних культур і адаптації агрофітотехнологій, змінюються по території Західно-Українського лісостепового краю у межах 1669–2127°C; середнє квадратичне відхилення – у межах 384–415°C; коефіцієнт варіації збільшується до 19–25%. Найменші суми температур вище 15°C спостерігались у вегетаційні періоди 1976 р., 1980 р., 1984 р., 1987 р. (в діапазоні 828–1317°C), а найбільші майже на всій території (за винятком ГМС Шепетівка, 1963 р.) зафіксовані у 2012 р. (2469–3152°C).

За відхиленнями від середніх багаторічних значень сум температур вище різних меж особливо виділяються 1980 р. (недостатні ресурси теплозабезпеченості вегетаційного періоду) і 2012 р. (дуже теплий вегетаційний період).

Аналіз графіків багаторічної динаміки сум температур вище 5, 10, 15°C (рис. 2.1–2.3, Додаток Б.1–Б.3) дозволяє зробити висновок про нестационарність процесу зміни теплових ресурсів території. На графіках динаміки для всіх гідрометеорологічних станцій регіону прослідковуються майже синхронні фрагменти довгохвильових коливань сум температур вище різних рівнів. Тренд для досліджуваного періоду відображено параболою II порядку. Починаючи з другої половини 1980-х років визначається висхідна складова лінії тренду. На цьому проміжку середньорічний приріст сум температур вище 5°C становить 17°C/рік, сум активних температур вище 10°C – 25°C/рік, сум температур вище 15°C – 32°C/рік. Отже, в останні десятиріччя найбільш інтенсивно відбувається накопичення теплових

ресурсів у періоди між датами переходу температури повітря через 10°C і 15°C .

а)



б)

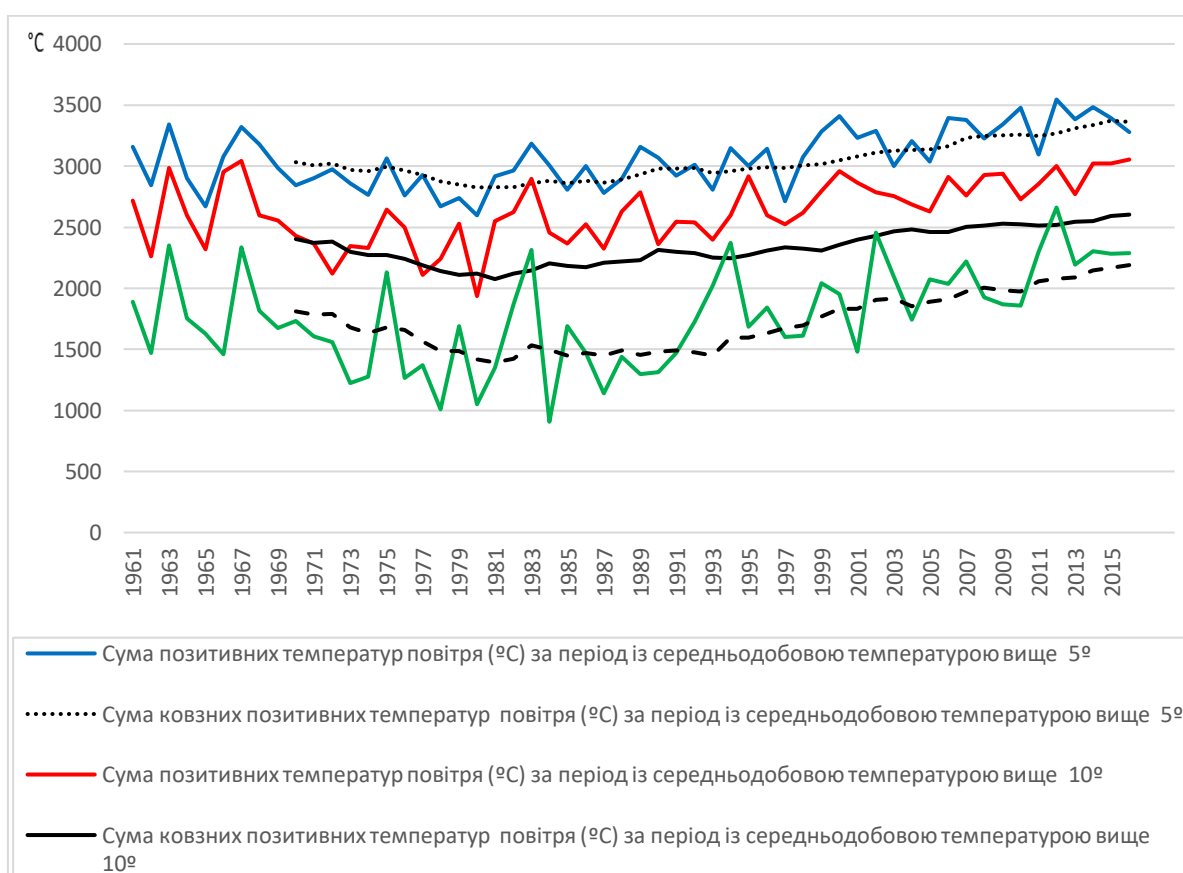
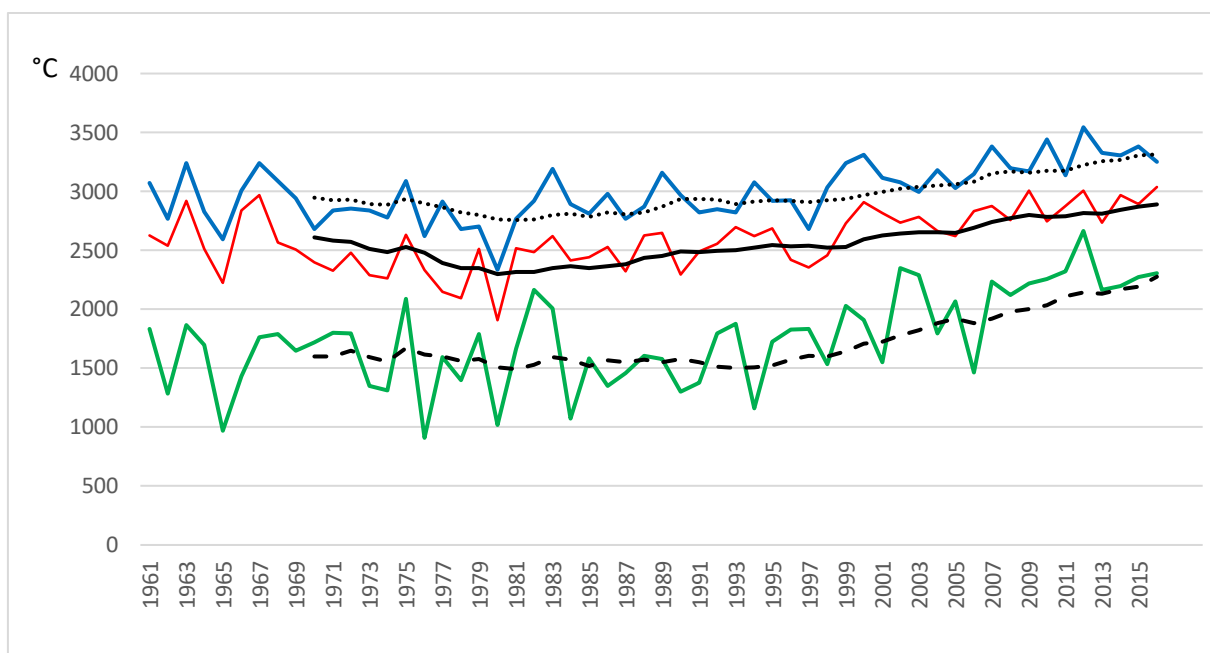


Рис. 2.1. Багаторічна динаміка сум температур повітря вище 5, 10, 15°C на території Львівської області (Броди (а), Кам'янка-Бузька(б))

а)



б)

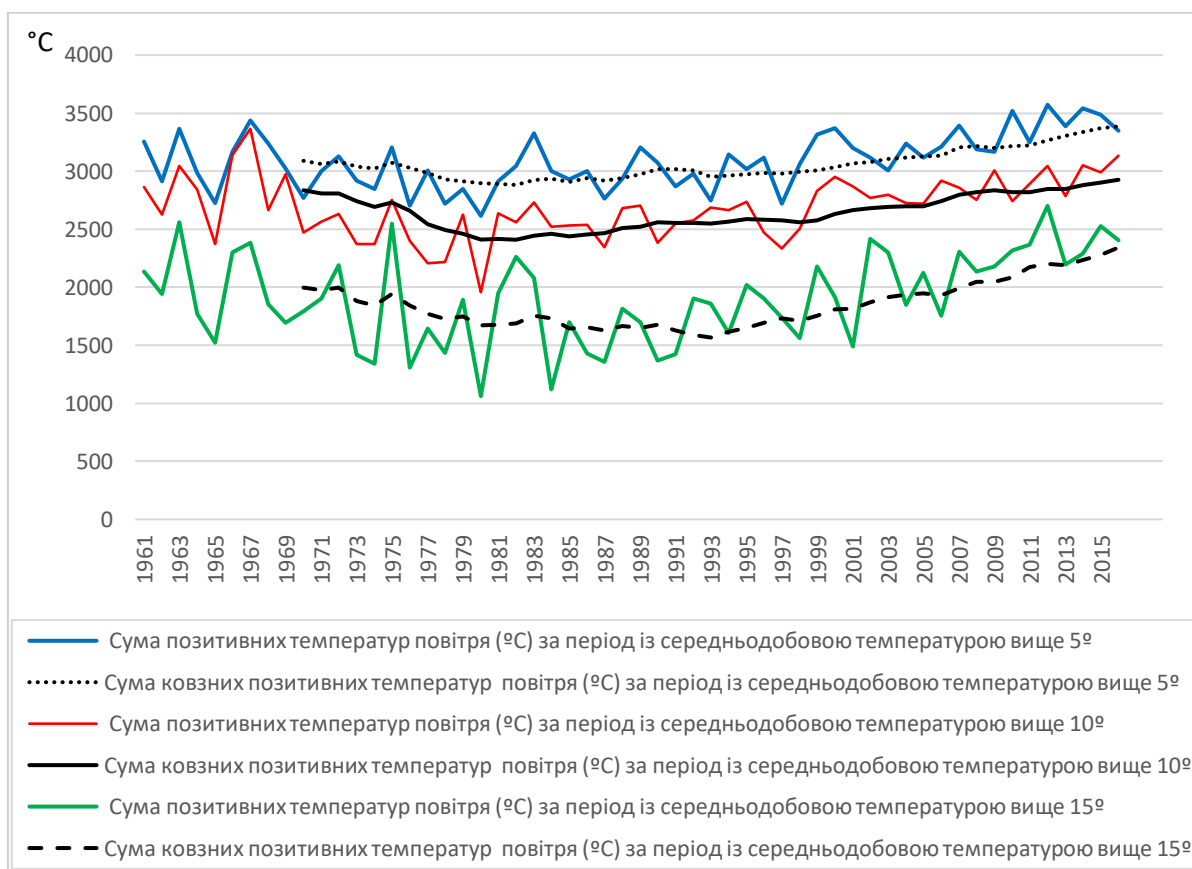
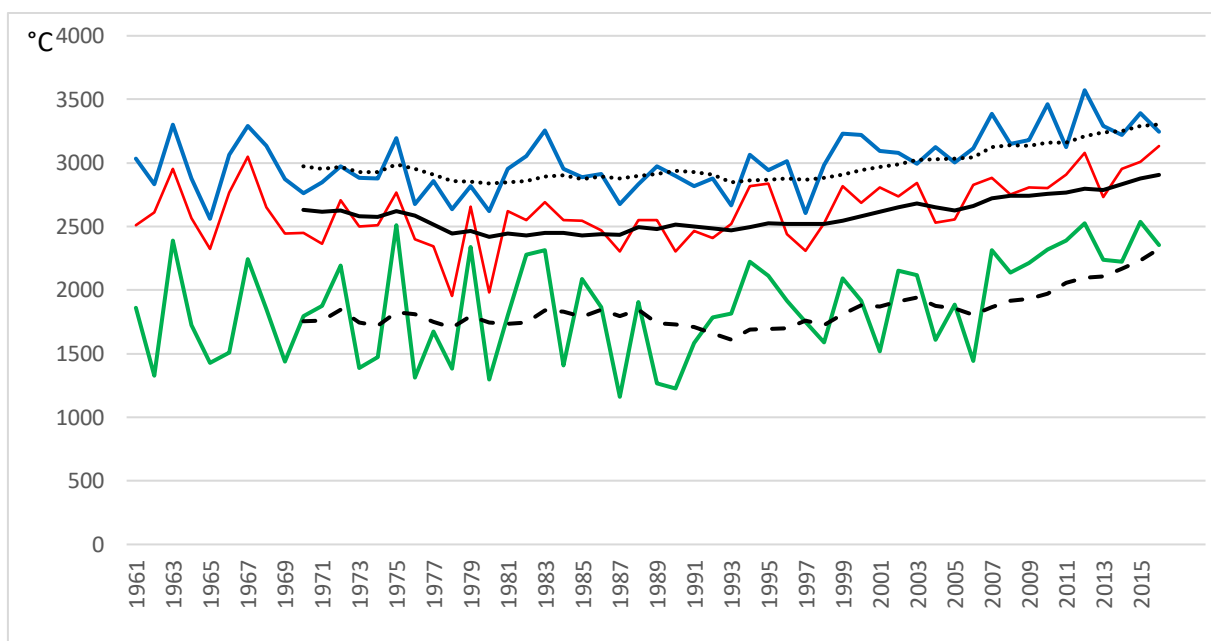


Рис. 2.2. Багаторічна динаміка сум температур повітря вище 5, 10, 15°C на території Тернопільської області (Бережани(а),Кременець(б))

а)



б)

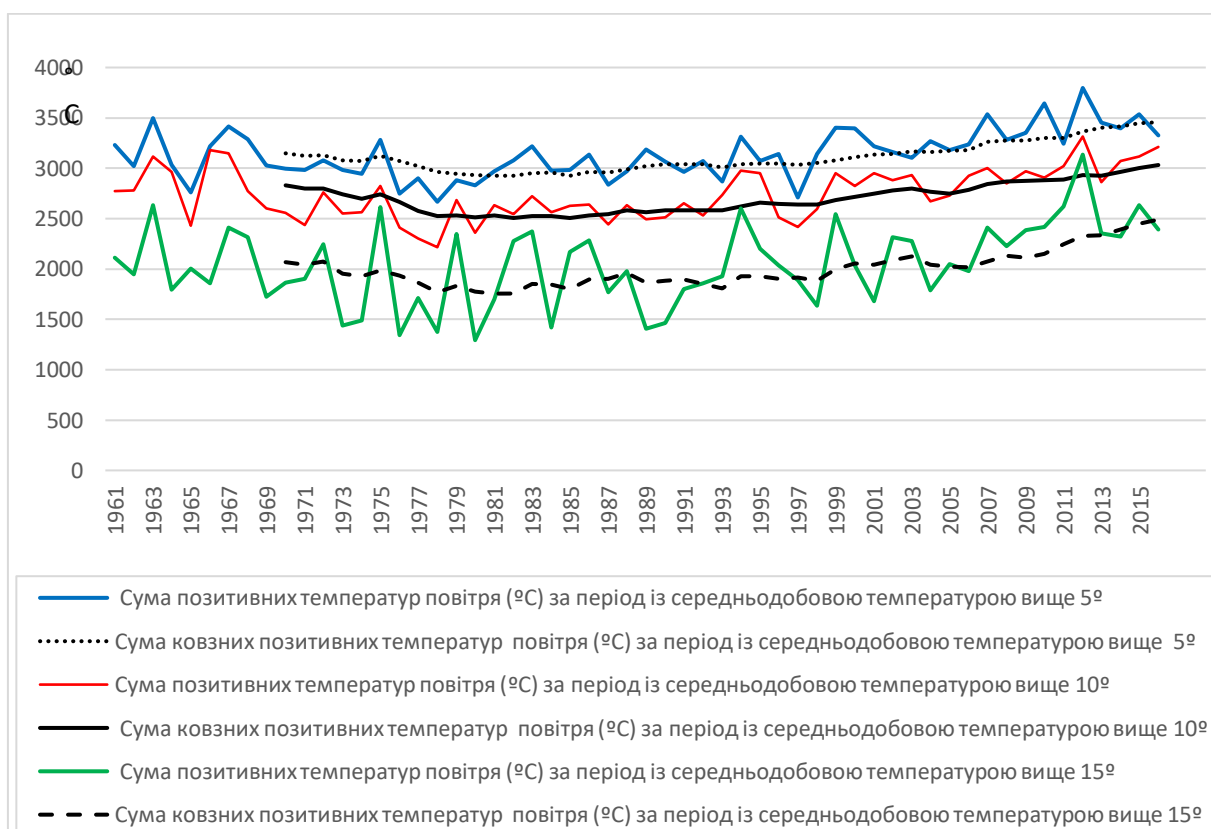


Рис. 2.3. Багаторічна динаміка сум температур повітря вище 5, 10, 15°C на території Хмельницької області (Хмельницький(а), Нова Ушиця(б))

Результати порівняльної оцінки динаміки середніх багаторічних щодаєдних приростів сум активних температур повітря (рис. 2.4). дозволяють зробити висновок, що у межах Західно-Українського лісостепоного краю в останні десятиріччя найбільше зросла інтенсивність накопичення тепла у третій декаді липня.

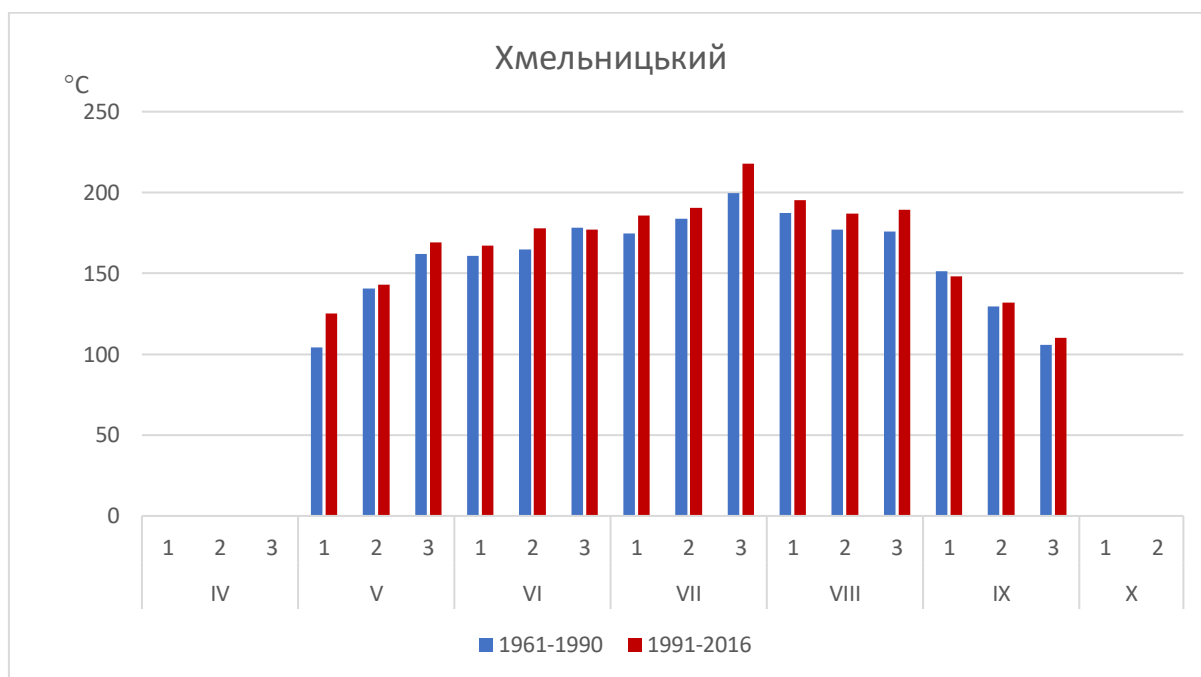


Рис. 2.4. Динаміка щодаєдного приросту сум активних температур повітря (°C)

Проведені дослідження зміни теплових ресурсів території за середніми багаторічними значеннями сум температур по десятиріччях у межах 1961-2016 рр. (табл. 2.4–2.6, рис. 2.5–2.7, Додатки В.1–В.3) свідчать про те, що Західно-Український лісостепогий край найбільше забезпечений тепловими ресурсами в останні два десятиріччя. Найбільші градієнт сум температур спостерігається між 1991-2000 рр. і 2001-2010 рр. Найменші значення сум температур характерні для періодів 1971-1980 рр. та 1981-1990 рр.

Таблиця 2.4

Середні по десятиріччях суми температур повітря вище 5, 10, 15°C
(Львівська область)

Період	Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище		
	5°	10°	15°
Яворів			
1961-1970	2999	2600	1727
1971-1980	2810	2297	1393
1981-1990	2911	2481	1400
1991-2000	3032	2687	1862
2001-2010	3286	2829	2011
2011-2016	3364	2910	2150
Рава-Руська			
1961-1970	2965	2577	1599
1971-1980	2764	2239	1343
1981-1990	2899	2449	1394
1991-2000	2967	2590	1758
2001-2010	3203	2724	1924
2011-2016	3262	2792	2040
Кам'янка-Бузька			
1961-1970	3032	2403	1811
1971-1980	2826	2118	1418
1981-1990	2978	2315	1479
1991-2000	3050	2354	1832
2001-2010	3258	2526	1976
2011-2016	3315	2553	2120
Броди			
1961-1970	3031	2697	1741
1971-1980	2837	2337	1518
1981-1990	2924	2481	1456
1991-2000	3016	2687	1836
2001-2010	3278	2820	2006
2011-2016	2774	2380	1788

Таблиця 2.5

Середні по десятиріччях суми температур повітря вище 5, 10, 15°C
(Тернопільська область)

Період	Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище		
	5°	10°	15°
Бережани			
1961-1970	2946	2610	1600
1971-1980	2764	2298	1506
1981-1990	2933	2490	1578
1991-2000	2968	2592	1707
2001-2010	3173	2784	2035
2011-2016	3256	2836	2171
Кременець			
1961-1970	3088	2837	1996
1971-1980	2899	2410	1674
1981-1990	3020	2562	1678
1991-2000	3034	2631	1810
2001-2010	3216	2816	2087
2011-2016	3314	2869	2238
Тернопіль			
1961-1970	2906	2565	1687
1971-1980	2701	2248	1530
1981-1990	2823	2449	1487
1991-2000	2910	2510	1685
2001-2010	3117	2746	2021
2011-2016	3194	2802	2149
Чортків			
1961-1970	3038	2722	1804
1971-1980	2840	2369	1669
1981-1990	2983	2532	1691
1991-2000	3027	2643	1819
2001-2010	3210	2835	2088
2011-2016	3315	2905	2240

Таблиця 2.6

Середні по десятиріччях суми температур повітря вище 5, 10, 15°C
(Хмельницька область)

Період	Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище		
	5°	10°	15°
Ямпіль			
1961-1970	2924	2580	1691
1971-1980	2744	2325	1616
1981-1990	2874	2476	1711
1991-2000	2927	2570	1859
2001-2010	3142	2724	1972
2011-2016	3231	2805	2163
Шепетівка			
1961-1970	2944	2647	1763
1971-1980	2762	2326	1666
1981-1990	2896	2483	1715
1991-2000	2936	2649	1874
2001-2010	3173	2744	1987
2011-2016	3252	2825	2175
Хмельницький			
1961-1970	2974	2633	1757
1971-1980	2839	2419	1745
1981-1990	2940	2515	1732
1991-2000	2942	2583	1879
2001-2010	3159	2755	1971
2011-2016	3243	2828	2165
Нова Ушиця			
1961-1970	3149	2833	2067
1971-1980	2929	2511	1776
1981-1990	3043	2580	1883
1991-2000	3108	2715	2054
2001-2010	3298	2880	2153
2011-2016	3397	2957	2374
Кам'янець-Подільський			
1961-1970	3250	2938	2248
1971-1980	2980	2543	1657
1981-1990	3149	2685	1818
1991-2000	3163	2782	1911
2001-2010	3365	2935	1950
2011-2016	3459	3007	2140

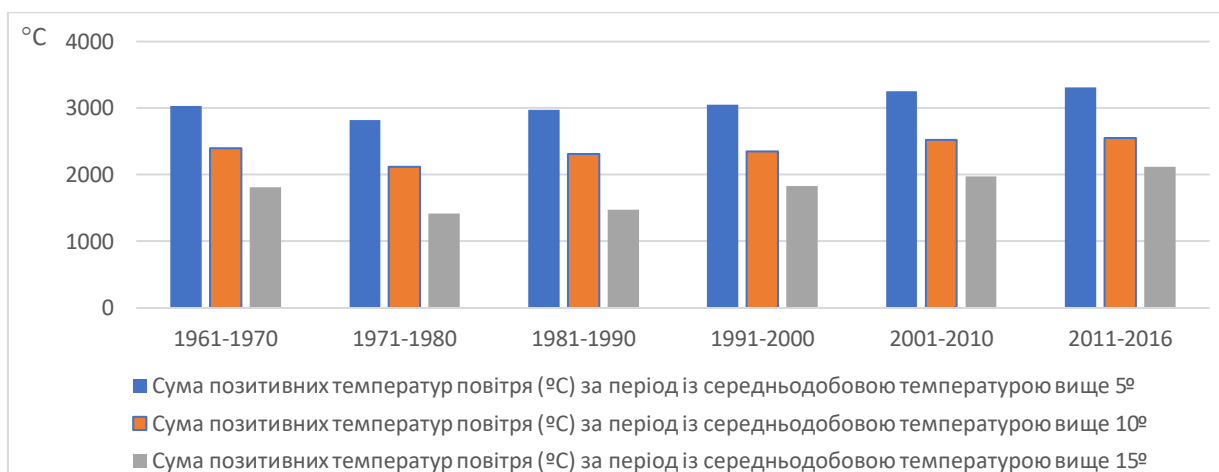


Рис. 2.5. Динаміка середніх по десятиріччях сум температур повітря 5, 10, 15°C (ГМС Кам'янка-Бузька, Львівська область)

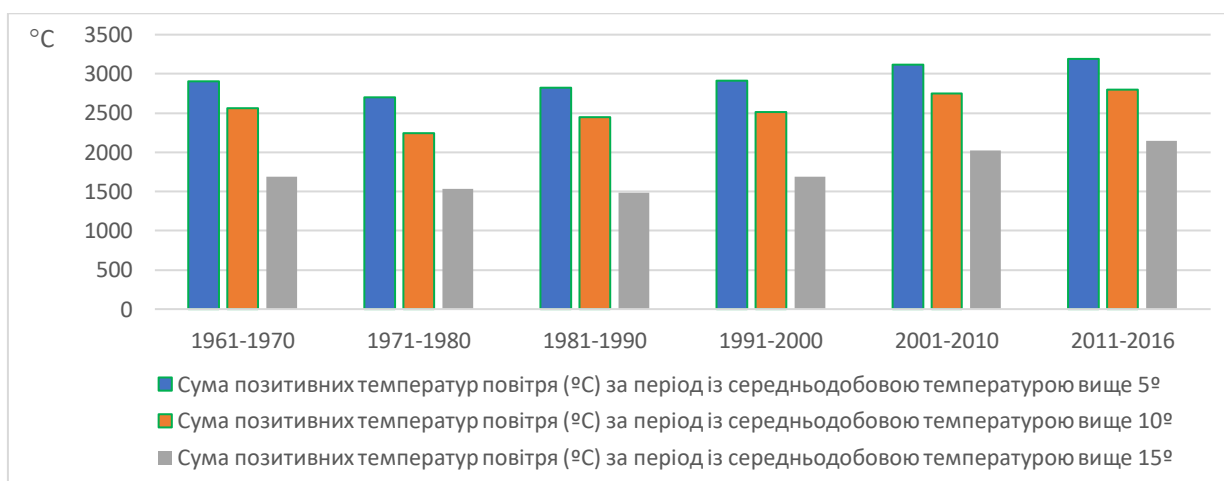


Рис. 2.6. Динаміка середніх по десятиріччях сум температур повітря вище 5, 10, 15°C (ГМС Тернопіль)

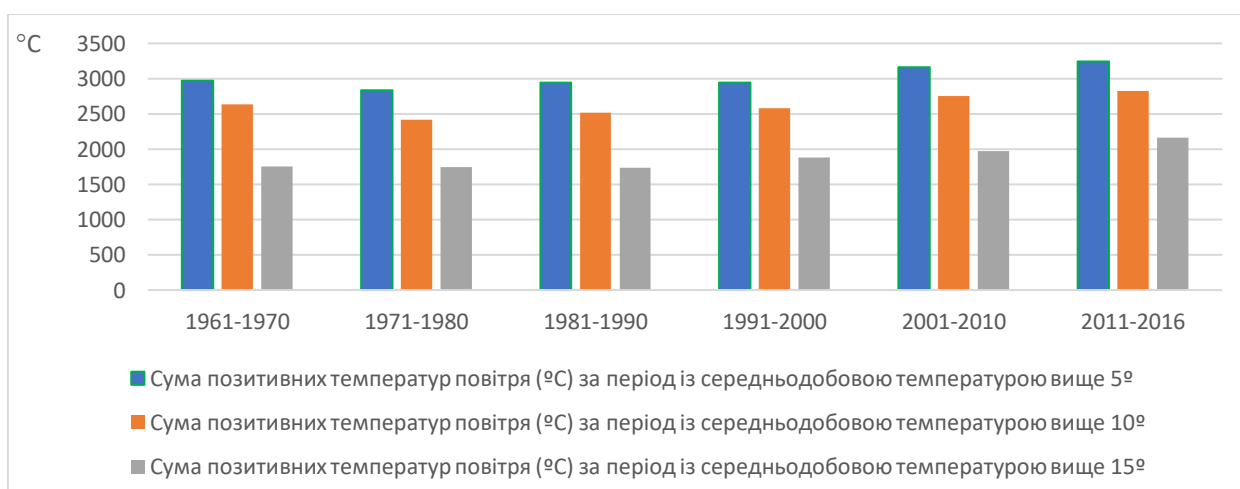


Рис. 2.7. Динаміка середніх по десятиріччях сум температур повітря вище 5, 10, 15°C (ГМС Хмельницький)

2.2. Багаторічні зміни запасів продуктивної вологи у ґрунті у вегетаційний період

У ґрунті вода є одним з основних його компонентів, який визначає рівень його родючості. Вода забезпечує перебіг біологічних і біохімічних процесів та інтенсивність перетворення мінеральних і органічних речовин та формування генетичних горизонтів профілю ґрунту [10, 12].

Запаси продуктивної вологи у ґрунті – це основне джерело вологозабезпеченості рослин. Тому запаси продуктивної вологи у ґрунті є одним із ключових агрометеорологічних параметрів, який враховується при оцінюванні умов формування врожаю та прогнозуванні врожайності культур.

Вивченню сучасних особливостей просторового розподілу і динаміки запасів продуктивної вологи у ґрунті на різних агрофонах на території України, зокрема її правобережної частини, присвячені роботи А.В. Круківської (для зернових культур), В.П. Кирилюка, В.Ф. Камінського і Гангур В.В. (для озимої пшениці), Кравченко Ю.С. і Матвіївого Г.М. (для кукурудзи), Веремеєнко С.І. і Фурманець О.А. (проведено аналіз зміни вологозапасів ґрунту протягом вегетаційного періоду в різні за тепло- та вологозабезпеченістю роки) та ін.

У даній роботі досліджено закономірності багаторічної динаміки запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту під посівами ярих зернових культур на останню декаду кожного місяця у період весняно-літньої вегетації (від III декади березня до III декади червня) за даними 5 гідрометеорологічних станцій: Шепетівка, Чортків, Броди, Бережани та Яворів за період 1951-2019 рр.

У табл. 2.7 наведено середні багаторічні значення запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту під ярими зерновими культурами та статистичні показники їх мінливості. У Додатках Д.1–Д.3 представлено гістограми розподілу продуктивних вологозапасів основних типів ґрунтів, поширених у Західно-Українському лісостеповому краї.

Таблиця 2.7

Запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см і статистичні показники їх мінливості на третю декаду місяця

Місяць	Середні багаторічні запаси вологи (W, мм)	Середнє квадратичне відхилення (σ , мм)	Найбільші / рік	Найменші/ рік	Коефіцієнт варіації (C_v , %)	Коефіцієнт асиметрії (A_s)	Коефіцієнт ексцесу (E_k)
Броди							
Березень	218	25,29	259 (1985)	161 (1959)	11,61	-0,93	1,50
Квітень	216	38,48	338 (1994)	143 (1959)	17,80	0,35	1,05
Травень	201	45,90	355 (1994)	90 (1950)	22,80	0,20	1,93
Червень	195	38,58	309 (1994)	106 (1950)	19,73	0,073	0,85
Липень	190	51,85	287 (1997)	72 (1955)	27,26	-0,49	0,84
Яворів							
Березень	201	51,44	312 (1978)	88 (1977)	25,61	-0,04	0,66
Квітень	194	48,92	325 (1978)	88 (1969)	25,25	0,62	0,55
Травень	180	51,40	377 (1978)	52 (1979)	28,51	0,56	2,98
Червень	161	44,96	249 (1985)	72 (1964)	27,95	0,07	-0,78
Липень	159	63,83	285 (1978)	48 (1979)	40,23	-0,11	-0,42
Бережани							
Березень	187	26,51	227 (2008)	146 (1989)	14,17	0,06	-0,56
Квітень	171	29,05	226 (2008)	93 (2004)	17,00	-0,46	0,60
Травень	159	33,43	228 (2010)	104 (1982)	20,98	0,33	-0,60
Червень	141	43,62	237 (2010)	66 (1954)	30,87	0,30	-0,68
Липень	117	37,18	184 (1992)	51 (1956)	31,73	-0,08	0,01

продовження табл. 2.7

Місяць	Середні багаторічні запаси вологи (W, мм)	Середнє квадратичне відхилення (σ , мм)	Найбільші / рік	Найменші/ рік	Коефіцієнт варіації (C_v , %)	Коефіцієнт асиметрії (A_s)	Коефіцієнт ексцесу (E_k)
Чортків							
Березень	166	32,22	225 (2001)	96 (1983)	19,37	-0,34	0,57
Квітень	167	27,82	215 (1955,	100 (2004)	16,66	-0,04	-0,49
Травень	152	30,64	205 (1994)	82 (2003)	20,17	-0,180	-0,79
Червень	144	36,23	219 (2001)	64 (1954)	25,22	-0,10	-0,27
Липень	107	48,33	182 (1955)	38 (1952)	45,14	0,02	-1,36
Шепетівка							
Березень	202	37,49	259 (1991)	141 (2012)	18,50	0,12	-1,11
Квітень	189	32,20	262 (1989)	128 (2016)	17,03	0,32	-0,64
Травень	162	35,48	255 (1971)	95 (2018)	21,83	0,47	0,09
Червень	136	53,19	267 (1969)	52 (1957)	39,01	0,24	-0,73
Липень	157	67,12	257 (1969,	37 (1952)	42,69	-0,54	-0,44

Згідно з результатами розрахунків, в окремі декади спостерігається асиметричність розподілу різного знаку і величини, що пов'язано із сезонними особливостями перебігу процесів вологообміну у ґрунтах, різних за генетико-морфологічними властивостями. У більшій частині декад відзначається лівостороння асиметрія розподілу. Правостороння асиметрія кривих розподілу запасів продуктивної вологи у метровому шарі спостерігається на дерново-підзолистих ґрунтах важкого механічного складу у третій декадах червня і липня.

Проведено оцінку просторових змін і динаміки запасів продуктивної вологи у ґрунті протягом вегетаційного періоду. Встановлено, що у березні запаси продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см по території змінюються від 166 мм (чорноземи опідзолені ґрунти) до 218 мм (перегнійно-карбонатні ґрунти). Середнє квадратичне відхилення становить 25–55 мм, а коефіцієнт варіації досягає 11–26%. Найменші запаси продуктивної вологи на початок вегетації (88 мм) за весь досліджуваний період спостерігались у 1977 р. (Яворів, дерново-слабопідзолисті ґрунти).

У квітні середні запаси продуктивної вологи мало відрізняються від значень у березні і змінюються по території від 167 мм до 216 мм. Середнє квадратичне відхилення коливається від 27 мм до 48 мм, коефіцієнт варіації для більшості станцій дорівнює 17 % (окрім ГМС Яворів, де він збільшується до 25 %). Найменші запаси продуктивної вологи спостерігались на станції Яворів у 1969 р. – 88 мм, а найбільші на станції Броди у 1994 р. – 338 мм.

У травні середні запаси продуктивної вологи у ґрунті змінюються по території від 152 мм до 201 мм. Середнє квадратичне відхилення збільшується до 30–51 мм. Коефіцієнт варіації дорівнює 20–22 % (для станції Яворів – 28 %). Найменші запаси продуктивної вологи (52 мм) спостерігались у 1979 р., а найбільші у 1978 р. (377 мм) на гідрометеорологічній станції Яворів.

У червні запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту змінюються в інтервалі 136–196 мм. Середнє квадратичне відхилення

становить 36–53 мм. Коефіцієнт варіації зростає від 20 % до 39 %. Найменші запаси продуктивної вологи (52 мм) спостерігались на станції Шепетівка у 1957 р., а найбільші (309 мм) на станції Броди у 1994 р.

У липні запаси вологи у шарі ґрунту 0-100 см зменшуються до 107–190 мм. Середнє квадратичне відхилення становить 37–67 мм. Коефіцієнт варіації змінювався від 27 % до 45%. Найменші значення продуктивних вологозапасів (37 мм) спостерігались у 1952 р. на станції Шепетівка, а найбільші (287 мм) у 1997 р. на станції Броди.

Отримані результати свідчать про те, що у вегетаційний період середні багаторічні запаси продуктивної вологи у метровому шарі зональних типів ґрунтів є достатніми для росту і розвитку як ярих зернових, так і інших основних польових культур. Зокрема, згідно з даними табл. 2.8, інтервали значень оптимальних запасів продуктивної вологи в ґрунті у критичні за вологопотребою періоди розвитку рослин знаходяться в межах коливань середніх вологозапасів у ґрунтах Західно-Українського лісостепового краю у відповідні часові проміжки.

Таблиця 2.8

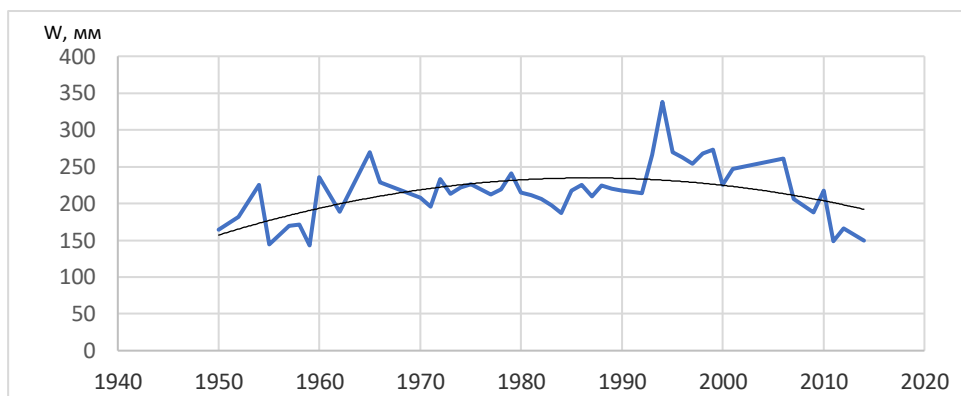
Оптимальні значення запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см у критичні періоди розвитку основних сільськогосподарських культур для зони широколистяних лісів (за [20])

Культура	Оптимальні значення вологозапасів(мм)
Озима пшениця (колосіння, I декада квітня)	75
Ярий ячмінь (колосіння, II декада червня)	100
Кукурудза (викидання волоті, II декада липня)	130
Цукровий буряк (пожовтіння нижніх листків, III декада серпня)	130

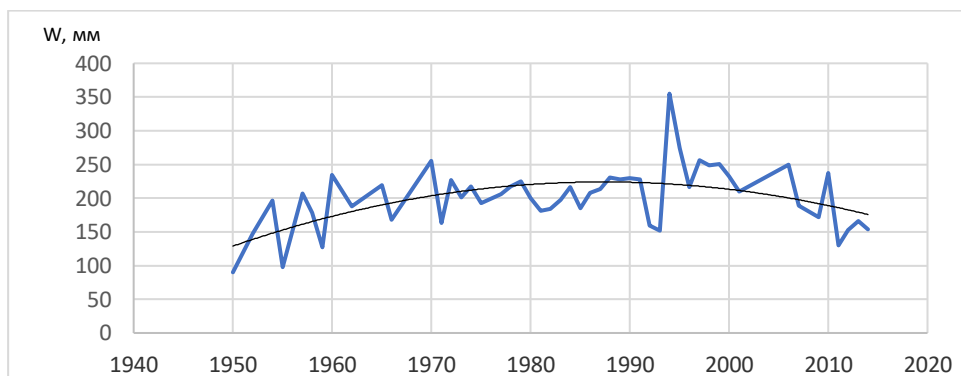
Однак результати дослідження багаторічної динаміки запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на кінець третьої декади кожного місяця у період весняно-літньої вегетації дозволяють зробити

висновок про зменшення вологовмісту ґрунтів з 1990-х років. На рис. 2.8 і рис. 2.9 наведено графіки багаторічної динаміки запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–100 см (для станцій, розташованих у західній і східній частинах досліджуваної території), на яких початку 1990-х років виділяється низхідні гілки параболічних трендів.

а)



б)



в)

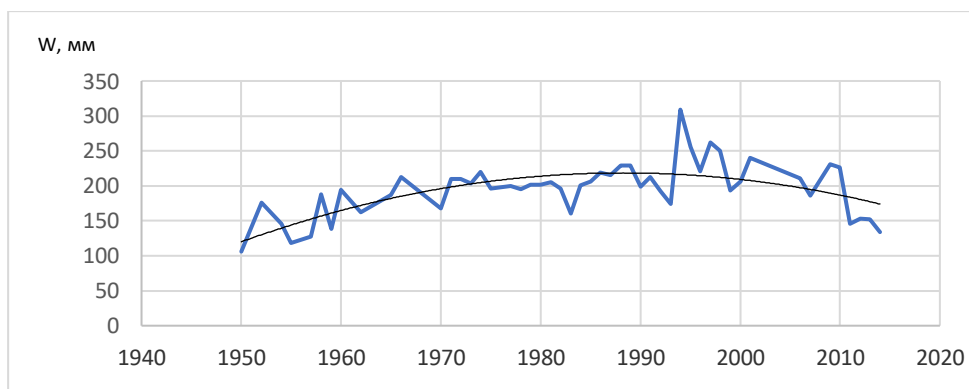
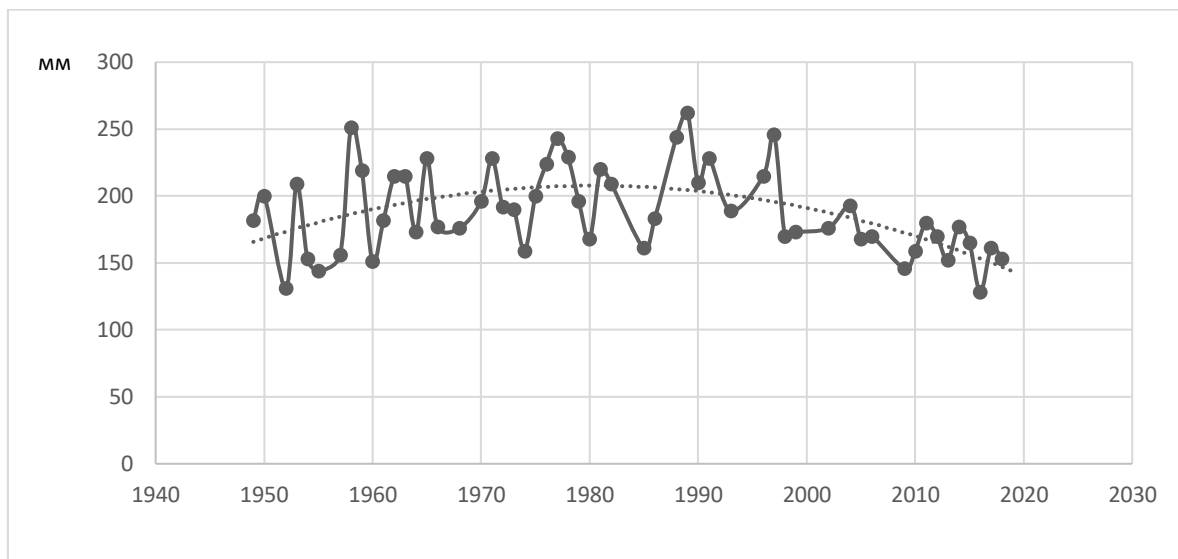


Рис. 2.8. Багаторічна динаміка запасів продуктивної вологи (мм) у шарі ґрунту 0–100 см під ярими зерновими культурами на третю декаду квітня (а),

третю декаду травня (б) і третю декаду червня (в) (ГМС Броди, Львівська область)

а)



б)

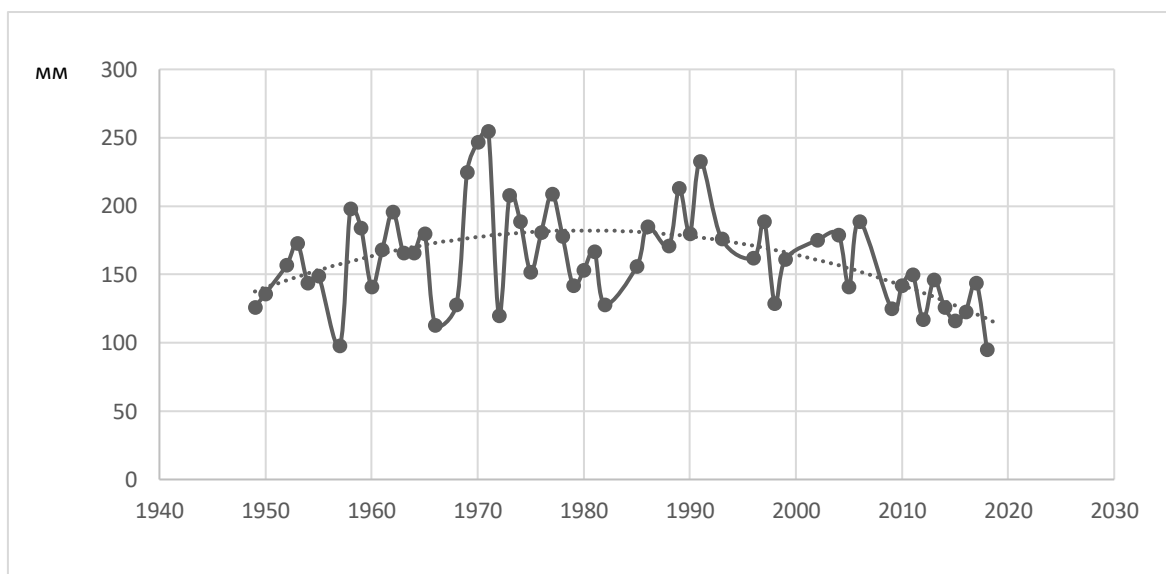


Рис. 2.9. Багаторічна динаміка запасів продуктивної вологи (мм) у шарі ґрунту 0–100 см під ярими зерновими культурами на третю декаду квітня (а) і третю декаду травня (б) (ГМС Шепетівка, Хмельницька область)

Проведено оцінку динаміки середніх поддесятиріччя запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту за період 1951–2019 рр.. Як видно за даними табл. 2.9 і рис. 2.10–2.12, останнє десятиріччя характеризується суттєвим зниженням вологовмісту ґрунтів у всім сяці вегетаційного періоду.

Таблиця 2.9

Середні по десятиріччях запаси продуктивної вологи у ґрунті на третю декаду місяця у вегетаційний період

Станція	Період	Середні вологозапаси у шарі 0-100 см на третю декаду місяця (мм)				
		березень	квітень	травень	червень	липень
Львівська область						
Яворів	1951-1960	-	-	-	-	-
	1961-1970	193	187	163	144	121
	1971-1980	198	219	189	174	183
	1981-1990	199	210	177	166	147
	1991-2000	194	171	182	150	166
	2001-2010	205	182	185	178	172
	2011-2019	197	179	183	156	-
Броди	1951-1960	182	181	170	155	149
	1961-1970	236	224	207	183	209
	1971-1980	220	220	205	204	203
	1981-1990	225	211	207	206	196
	1991-2000	227	259	237	228	269
	2001-2010	-	224	212	219	-
	2011-2019	-	155	151	146	-
Тернопільська область						
Бережани	1951-1960	-	152	134	99	-
	1961-1970	-	-	153	137	-
	1971-1980	-	-	-	-	-
	1981-1990	-	174	152	141	-
	1991-2000	-	152	141	133	-
	2001-2010	200	168	172	153	-
	2011-2019	198	197	196	176	-
Чортків	1951-1960	180	176	154	120	89
	1961-1970	179	211	169	163	-
	1971-1980	153	-	-	-	-
	1981-1990	140	165	150	140	146
	1991-2000	193	183	174	167	159
	2001-2010	189	155	142	150	-
	2011-2019	133	144	137	145	-
Хмельницька область						
Шепетівка	1951-1960	184	177	156	97	89
	1961-1970	187	195	159	132	177
	1971-1980	211	203	179	154	182
	1981-1990	217	213	171	199	257
	1991-2000	259	244	175	150	231
	2001-2010	224	169	159	146	145
	2011-2019	173	161	127	94	-

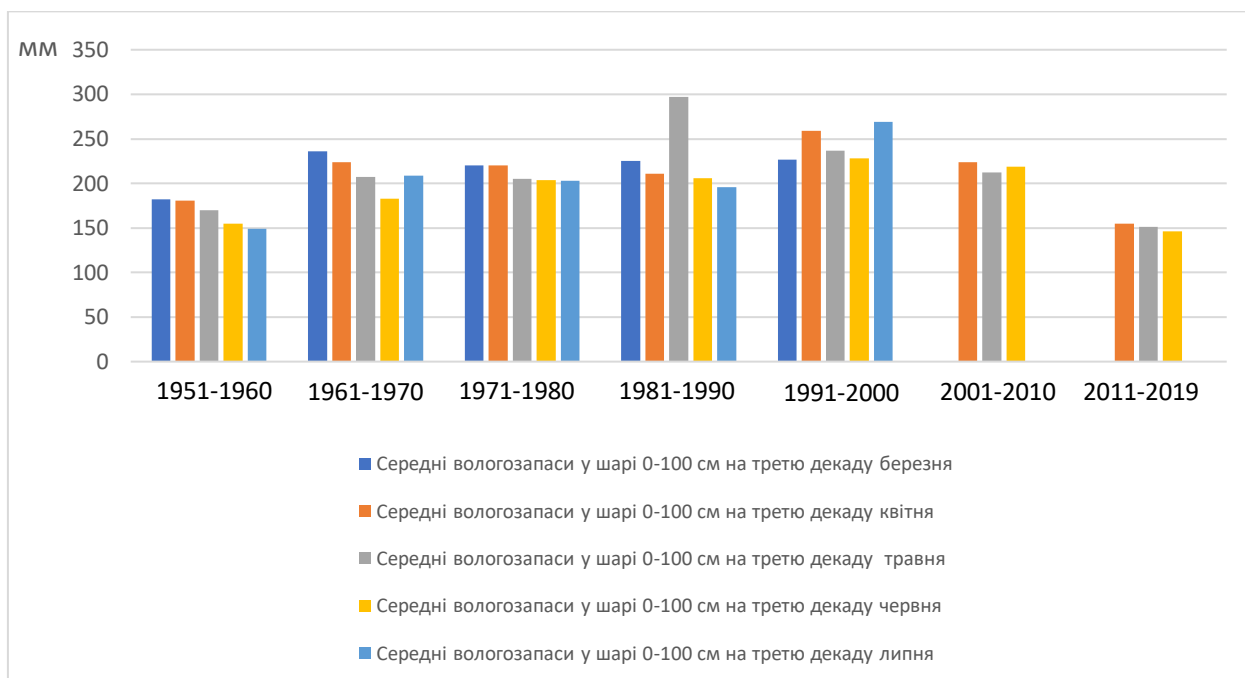


Рис. 2.10. Динаміка середніх по десятиріччях запасів продуктивної вологи у шарі 0-100 см (ГМС Броди, Львівська область)

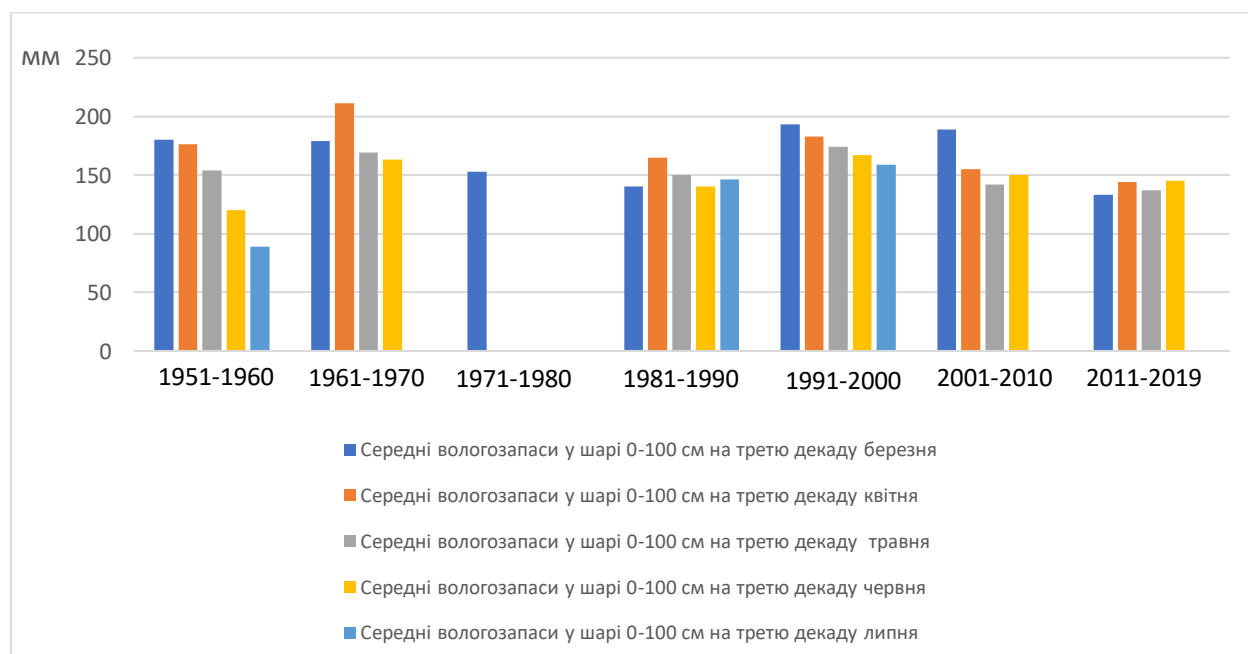


Рис. 2.11. Динаміка середніх по десятиріччях запасів продуктивної вологи у шарі 0-100 см (ГМС Чортків, Тернопільська область)

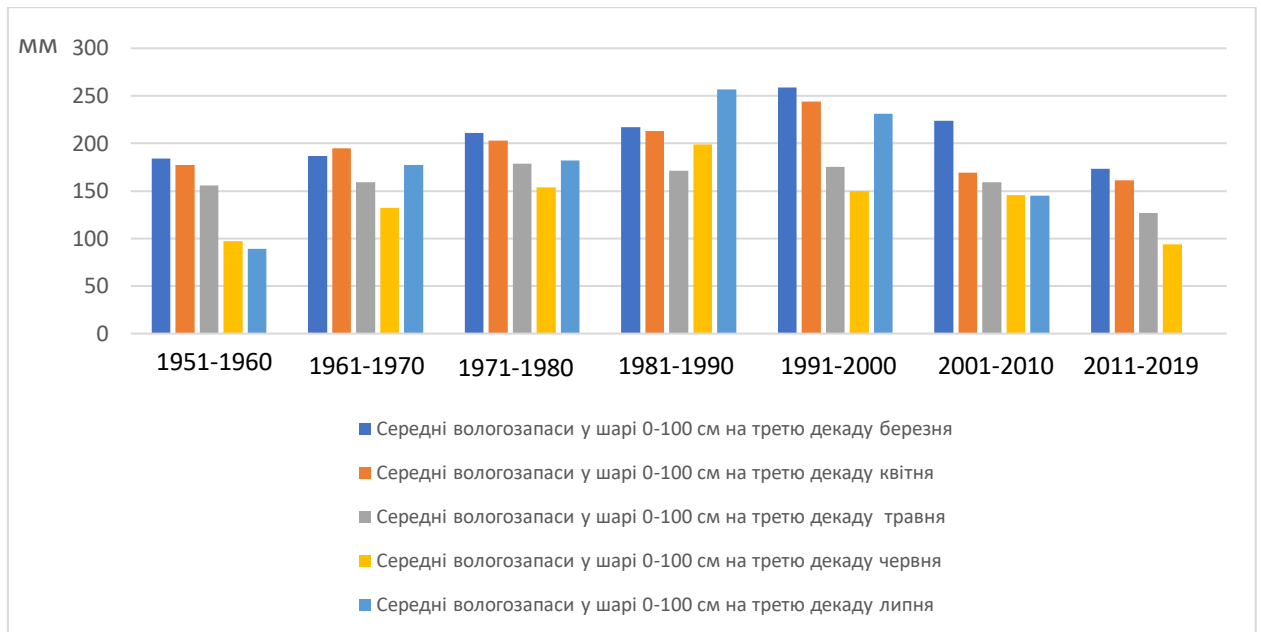


Рис. 2.12. Динаміка середніх по десятиріччях запасів продуктивної вологи у шарі 0-100 см (ГМС Шепетівка, Хмельницька область)

Зменшення середніх запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту у 2011–2019 рр., порівняно з 2001–2010 рр., в окремі місяці дорівнює 56 мм. Зокрема в березні, що свідчить про недостатнє вологонакопичення в результаті сніготанення. У місяці літньої вегетації відхилення в бік зменшення коливаються від 5 до 52 мм, що пов'язано зі змінами режиму атмосферного зволоження.

Таким чином, за в останні десятиріччя агрокліматичні умови у вегетаційний період на території Західно-Українського лісостепового краю зазнають змін, що полягають у збільшенні теплових ресурсів і зменшенні запасів продуктивної вологи у ґрунті. Зменшення агрогідрологічних ресурсів (вологовмісту ґрунтів) за порівнянням з вологопотребою основних польових культур не є критичним. Однак, для обґрунтування такого висновку необхідним є проведення оцінки комплексного впливу умов тепло- і вологозабезпеченості на продуктивність посівів. Вирішенню цього завдання присвячений наступний розділ роботи.

РОЗДІЛ 3 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В ЗАХІДНО-УКРАЇНСЬКОМУ ЛІСОСТЕПОВОМУ КРАЇ

3.1. Потреба ярого ячменю в агрометеорологічних чинниках

Ярий ячмінь (*Hordeum vulgare L.*) у західних районах України в структурі посівних площ зернових культур займає перше місце (40 %) і перевищує за урожайністю озиму пшеницю. Ярий ячмінь вирощують як продовольчу, кормову та технічну культуру.

У цілому, ця культура не вибаглива до тепла. Насіння ячменю починає проростати при температурі 1–2°C. Для проростання насіння ячменю потрібно 45–50 % води від його сухої маси, що значно менше, ніж для насіння пшениці чи вівса. Сходи з'являються за середньої добової температури повітря 8–10°C на 12–17-й день, а за 16–18°C – на 6–7-й день. Сходи ячменю ушкоджуються заморозками за температури -7...-8 °C, а квітки і зав'язі – -1...-2°C. За достатньої вологозабезпеченості куціння ярого ячменю починається, коли накопичується сума ефективних температур (вище 5°C) 134°C. Після появи сходів культурі потрібна велика кількість вологи, що пов'язано із слабким розвитком кореневої системи. Запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту навесні більше 160 мм сприяють одержанню високих урожаїв, а менше 80 мм є недостатніми. Ячмінь відноситься до рослин довгого дня і при скороченому світловому дні його колосіння затримується. Колосіння ячменю починається за накопичення суми ефективних температур після виходу в трубку близько 330°C, а для періоду від колосіння до воскової стиглості необхідна сума температур 400°C. Ячмінь потребує багато вологи у фазі куціння і особливо у період від виходу рослин у трубку до колосіння. Сильна посуха в цей період призводить до стерильності пилку, що у свою чергу, суттєво знижує врожайність культури. Сприятливими для формування урожаю ячменю в період колосіння є запаси

продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту від 110 до 130 мм. Дефіцит вологи у фазі молочної стиглості супроводжується всиханням стебел і листя, припиненням синтезу крохмалю в зерні, підвищенням вмісту білкових речовин. Підвищення середньої добової температури повітря понад 23°C в цей період несприятливо позначається на урожайності ячменю. Водночас високі температури (38–40°C і вище) в період наливання зерна ячмінь витримує краще, ніж пшениця. Ячмінь вважається однією з найбільш посухостійких зернових культур, його транспіраційний коефіцієнт дорівнює 400. По стійкості до «захоплення» і «запалу» зерна під дією суховіїв займає перше місце серед хлібних злаків [9, 36].

Відповідно до біологічних особливостей ячменю ярого, через слаборозвинену кореневу систему та нетривалий строк інтенсивного поглинання і накопичення поживних речовин, він є досить вимогливим до родючості ґрунту, вологозабезпеченості, реакції ґрунтового розчину. Погано росте ячмінь на легких піщаних ґрунтах, дуже пригнічується на кислих торфовищах (при $\text{pH} < 6$), а в умовах надто кислої реакції ґрунтового розчину ($\text{pH} 3,5$) зовсім не дає сходів. Кращими для ячменю є чорноземи типові та сірі лісові ґрунти, менш придатними є глинисті і суглинкові ґрунти. Найвищі врожаї ячмінь формує на родючих добре структурованих ґрунтах з глибоким орним горизонтом [9, 36].

Ячмінь – найбільш скоростигла яра зернова культура, вегетаційний період якої становить 60–110 днів, у межах Західно-Українського лісостепового краю – 85–95 днів.

За останні роки в Україні та за її межами створено багато цінних сортів ячменю з високим потенціалом урожайності. Так, станом на кінець 2020 р. в «Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні» представлено 181 сорт ярого ячменю [19].

У державному сортовипробуванні урожайність районованих сортів ярого ячменю досягає 55–75 ц/га (потенціал продуктивності – 105,4 ц/га).

Середняурожайність у виробництві в господарствах Львівської, Хмельницької та Тернопільської областей –32,4–42,1 ц/га [19].

3.2. Оцінювання динаміки продуктивності ярого ячменю за моделлю AquaCrop

3.2.1. Теоретичні основи моделі та загальна розрахункова схема

AquaCrop–динамічна імітаційна модель продукційного процесу рослин, яка дає змогу прогнозувати врожайність польових трав'янистих культур, залежно від їх водоспоживання, а також дозволяє оцінювати вплив на формування урожаю сільськогосподарських культур агрометеорологічних, ґрунтових, агротехнічних та інших чинників [47, 49]. Модель Розроблена Відділом земельних і водних ресурсів Продовольчої і сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО). Перша версія моделі була створена групою вчених під керівництвом доктора ПаскалеСтедутто з Інституту сталого сільського господарства (м. Кордоба, Іспанія) у 2009 р., з того часу модель успішно використовується (на сьогодні у 60 країнах світу) і вдосконалюється.

У даному дослідженні для розрахунків використано стандартну програму AquaCrop (Version 6.1), яка є у відкритому доступі на сайті ФАО.

Концептуальну основу моделі AquaCrop (Stedutoetal., 2009) становить уявлення про те, що інтенсивність приросту біомаси посіву прямо пропорційна нормалізованій транспірації (наявність лінійного зв'язку між транспірацією посіву та його біомасою), що описується рівнянням:

$$B = WP^* \left(\sum \frac{T_r}{ET_0} \right) \quad (3.1)$$

де B – надземна суха біомаса посіву ($\text{г}/\text{м}^2$); WP^* – продуктивність транспірації, що відображає зв'язок між приростом сухої надземної біомаси і транспірацією в певних кліматичних умовах ($\text{г}/\text{м}^2$), $\Sigma(Tr/ET_o)$ – сумарна добова нормалізована транспірація за вегетаційний цикл культури (від сівби до збирання врожаю) (мм); Tr – транспірація (мм/добу); ET_o – еталонна евапотранспірація (мм/добу).

Отже, суха біомаса (B) пропорційна транспірації посіву (ΣTr), при цьому коригуючим параметром є параметр продуктивності води (WP^*).

Урожайність (або біомаса продуктивного органу) (Y) виділяється із загальної біомаси за допомогою індексу урожайності (HI):

$$Y = HI \times B \quad (3.2)$$

Індекс врожайності (HI) відображає масу зібраної рослинної продукції у відсотках від загальної надземної біомаси. Фактичний HI отримують шляхом коригування референтного індексу врожаю (HI_o) на основі коефіцієнту стресових ефектів.

AquaCrop моделює урожайність чотири етапи, які реалізуються послідовно. Основними етапами моделювання за AquaCrop (Додаток Е) є розрахунок таких параметрів:

1. *Проективне покриття поля рослинами.* В моделі AquaCrop розвиток листя (фотосинтезуючого апарату) виражається як частка поля вкрита рослинами (CC (canopy cover)). Значення параметру CC змінюється від 0 % під час сівби до 100 % на момент повного покриття ґрунту рослинами. Умови так званого екологічного стресу, за якого певний чинник росту і розвитку рослин досягає критичного для них значення, враховуються за коефіцієнтами стресу (K_s) (водного, температурного або стресу засоленості), які змінюються від 1 (стрес відсутній) до 0 (максимальний стрес) [47, 49].

2. *Транспірація посіву.* Величина транспірації (Tr) може бути визначена за декількома методами. В умовах достатнього обводнення

агроценозу транспірація посіву (Tr) обчислюється як добуток оптимальної евапотранспірації (ET_0) на коефіцієнт врожаю (K_{cb}):

$$Tr = ET_0 \times K_{cb} \quad (3.3)$$

Коефіцієнт врожаю (K_{cb}) пропорційний параметру покриття поля рослинами (CC) і змінюється протягом життєвого циклу посіву відповідно до змодельованого покриття ґрунту зеленою масою рослин.

Еталонна евапотранспірація (ET_0), за відсутності фактичних даних по сумарному випаровуванню, розраховується в моделі за формулою Пенмана-Монтейта з уточненими параметрами відповідно до методики FAO-56 (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (3.4)$$

де Δ – параметр, що відображає залежність насичення водяної пари від температури повітря (кПа); R_n – радіаційний баланс у посіві (МДж/м²·год); G – потік тепла в ґрунт (МДж/м²·год); γ – психрометрична постійна (кПа); T – температура повітря на висоті 2 м (°C); u_2 – швидкість вітру на висоті 2 м (м/с); e_s – тиск насичення (кПа); e_a – парціальний тиск водяної пари (кПа).

3. *Надземна суха біомаса.* Вона залежить від агрометеорологічних умов, що визначають нормалізовану продуктивність води (WP^*), відмінну для різних територій, міжфазних періодів, температурного режиму, концентрації CO₂ тощо. Головна мета нормалізації процесів водоспоживання полягає в тому, щоб знівелювати локальні умови, які складаються на кожному полі.

4. *Врожайність.* Оскільки AquaCrop не диференціюється за типом біологічних продуктів, які накопичуються протягом всього періоду вегетації, то змодельовані показники сухої надземної біомаси (B) відносяться до

сукупної маси стебел, листя, квітів тощо. Тобто, надземна біомаса об'єднує всі продукти фотосинтезу, утворені посівом протягом вегетаційного циклу. Як було зазначено попередньо, врожайність (Y) визначається як частка біомаси корисного органу в загальній біомасі (B).

Температурний та водний стреси (що характеризується суттєвим відхиленням температурних показників і характеристик режиму зволоження від оптимального діапазону для певної фази розвитку рослин) безпосередньо впливають на розглянуті процеси. У якості стресових чинників, крім агрометеорологічних і ґрунтових, у моделі також враховується вплив рівня забур'яненості посівів, глибини залягання ґрунтових вод через коефіцієнти, які пропорційного до інтенсивності негативного впливу зменшують біомасу посіву [47, 49].

Вхідна інформація для моделювання складаються з метеорологічних даних (щоденних, середньодекадних або середньомісячних), фенологічних характеристик посіву та властивостей ґрунтів, режиму ґрунтових вод, характеристик агротехнологій та інших параметрів середовища, в якому формується врожай [47, 49].

Для коригування величини транспірації посіву і продуктивності за вологозабезпеченістю також враховується середньорічний показник концентрації CO_2 в атмосфері, який можна вибрати з бази даних програмного комплексу AquaCrop (файл «MaunaLoa.CO₂»).

База даних AquaCrop містить також фенологічні та морфометричні характеристики сільськогосподарських культур. Також в програмі є можливість вибору порогових значень для стресових і нормальних умов росту й розвитку сільськогосподарських культур. База даних програми містить файли основних типів ґрунтів з їх характерними різновидами. Основними параметрами ґрунтів, які необхідно коригувати відповідно до локальних умов є глибина залягання ґрунтових вод та кількість і товщина ґрунтових горизонтів [49].

3.2.2. Моделювання продуктивності ярого ячменю

Завдання моделювання в даній роботі полягало у визначенні показників продуктивності посівів ярого ячменю на території Західно-Українського лісостепового краю у різні роки, з різними умовами тепло- і вологозабезпеченості вегетаційного періоду. Метою такої оцінки є виявлення ступеню впливу змін теплових і агрогідрологічних ресурсів території, які посилюються в останні десятиріччя, на ефективність вирощування ярого ячменю.

Адаптація моделі для регіональних розрахунків полягала у налаштуванні програми за базовими елементами системи землеробства, агрометеорологічними умовами, властивостями ґрунтів та специфікою агрофітотехнологій.

Важливим етапом калібрування моделі було визначення оптимального методу розрахунку евапотранспірації та параметризації процесів. Замість формули Пенмана-Монтейта, яка містить велику кількість параметрів, визначення частини з яких з достатньою точністю є ускладненим, було застосовано формулу Харгрейва:

$$ET_o = 0,023(T_{mean} + 17,8)(T_{min} - T_{max})^{0,5} R_a \quad (3.5)$$

де T_{min} – мінімальна температура повітря (°C); T_{max} – максимальна температура повітря (°C); T_{mean} – середнє значення температури повітря (°C); R_a – сумарна сонячна радіація (МДж/м²).

Створена для моделювання база метеорологічних даних включає щоденні дані по температурі повітря (середній, максимальній і мінімальній), сумарній сонячній радіації, кількості опадів та евапотранспірації за всі місяці вегетаційного періоду по гідрометеорологічних станціях Тернопіль і Хмельницький за 1991 р., 2007 р. та 2012 р. Ці роки було обрано для порівняльного аналізу як роки з несприятливими агрометеорологічними

умовами під час вегетації. Зокрема, у 1991 р. і 2007 р. у Західно-Українському лісостеповому краї спостерігались інтенсивні та тривалі посухи, 2012 р. був одним із найтепліших (з максимальними сумами активних температур повітря у вегетаційний період).

Середньорічний показник концентрації CO₂, обирався з бази даних моделі AquaCrop, яка автоматично оновлюється через мережу Інтернет. Даний показник потрібен для коригування величини транспірації культур і продуктивності посівів за вологозабезпеченістю.

База фенологічних даних по ярому ячменю створена за даними агрометеорологічних щорічників по гідрометеорологічних станціях Тернопіль і Хмельницький. Вона включає дати сівби, дати появи сходів та формування кореневої системи культури, дати початку та закінчення цвітіння, дати початку та повного дозрівання культури. Додатково за літературними джерелами визначено глибину проникнення кореневої системи, середні показники густини посівів, характеристики забур'яненості посівів та інші.

Регіональну базу даних по властивостях ґрунтів створено на основі бази даних моделі AquaCrop (Тернопіль – чорноземи; Хмельницький – сірі опідзолені). Коригування здійснено за глибиною залягання ґрунтових вод, кількістю і товщиною ґрунтових горизонтів, солоністю ґрунтів на основі спеціалізованих агроґрунтових довідкових джерел.

Приклад результатів обробки даних по концентрації вуглекислого газу, агрометеорологічних умовах весняно-літньої вегетації ярого ячменю у 2012р. у Тернопільській області, представлено на рис. 3.1.

Наступним кроком було моделювання фенології ярого ячменю (рис. 3.2). У 2012 р. датою, від якої починалося моделювання приросту біомаси, була дата сівби ярого ячменю – 10 квітня. Фаза появи перших сходів (emergence) настала 16 квітня. Для утворення максимальної листо-стеблової маси (maxcanopuscover) культурі потрібен був 51 день від дня сівби (3 травня), а для початку цвітіння – 63 дні (15 травня). Остання етап тривав 10 днів. 28

червня почалася фаза дозрівання врожаю (senescence), а дата повної стиглості культури настала 18 липня. Тривалість вегетаційного періоду ярого ячменю загалом становила 100 днів.



Рис. 3.1. Динаміка концентрації CO_2 (а), температури повітря(б), кількості опадів(в) та евапотранспірації(з) в посівах ярого ячменю протягом вегетаційного періоду 2012 р. (ГМС Тернопіль)

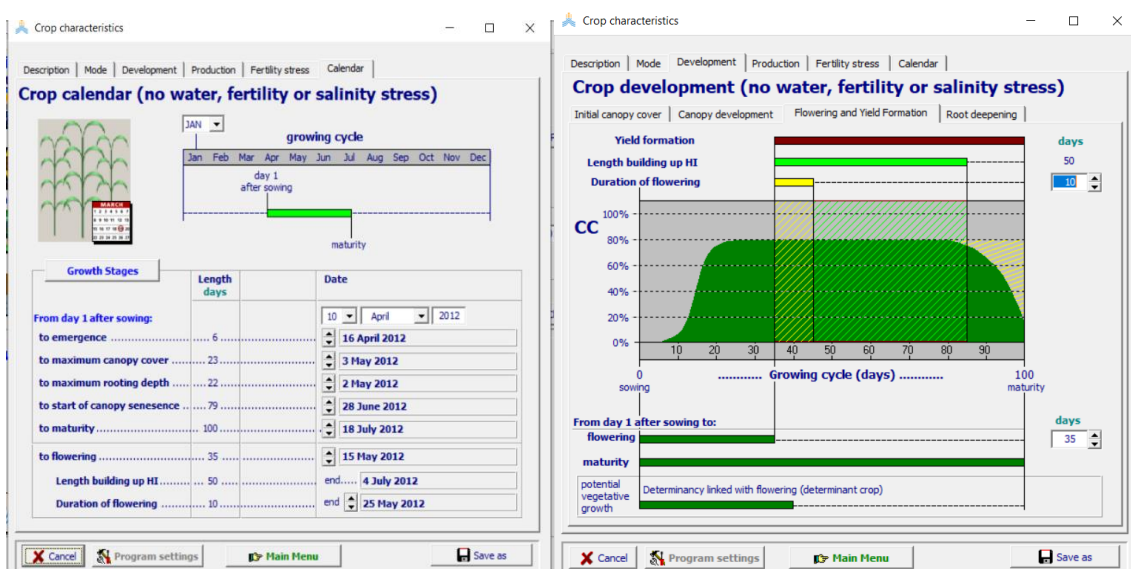


Рис. 3.2. Результати моделювання фенологічного календаря ярого ячменю у 2012 р. (ГМС Тернопіль)

Змодельовано стресові показники за умовами тепло- і вологозабезпеченості протягом вегетаційного періоду, а також інші агроєкологічні стресові показники. На рис. 3.3 наведено приклад розрахунку коефіцієнту стресу за солоністю ґрунту.

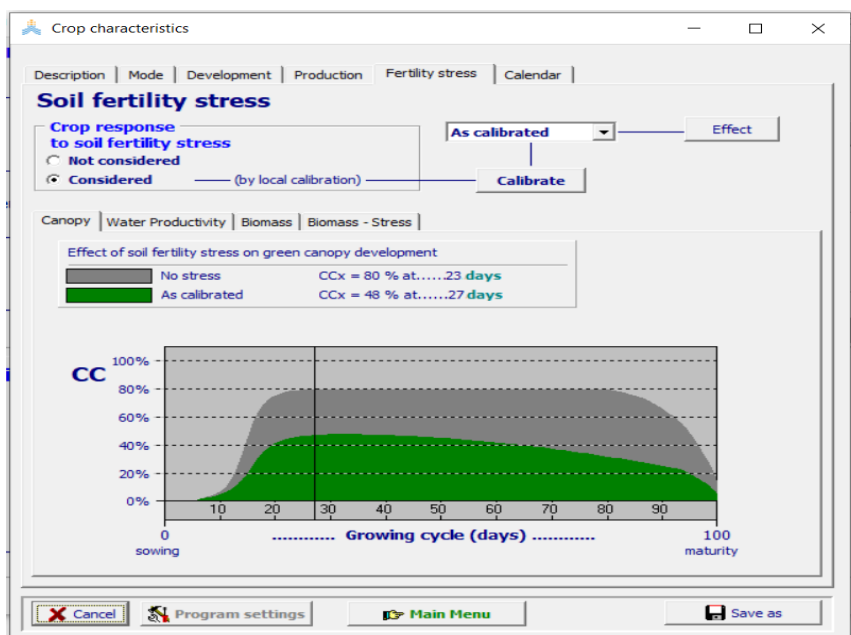


Рис. 3.3. Динаміка проєктивного покриття посівів ярого ячменю з урахуванням показника стресу за солоністю ґрунту у 2012 р. (ГМС Тернопіль)

У подальшому змодельовано показники стану посівів ярого ячменю (рис. 3.4). Розраховано загальну суху біомасу посівів (рис. 3.5), яку 2012 р. становить 9,419 т/га. Загальна біомаса є досить значною і досягає 98 % від максимальної. Індекс врожайності (НІ), дорівнює 52,4 %. Урожайність ярого ячменю – 4,934 т/га.

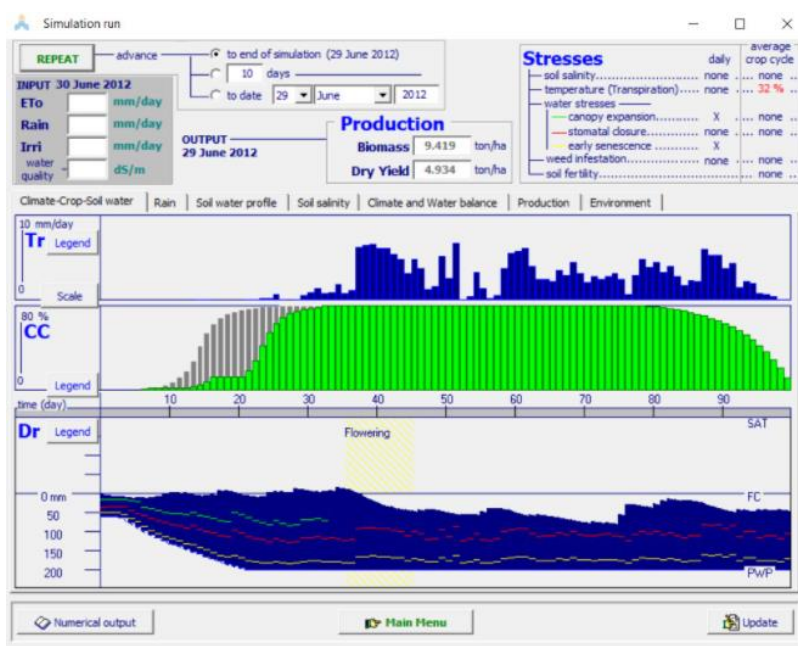


Рис. 3.4. Параметри стану посівів ярого ячменю у 2012 р. (ГМС Тернопіль)

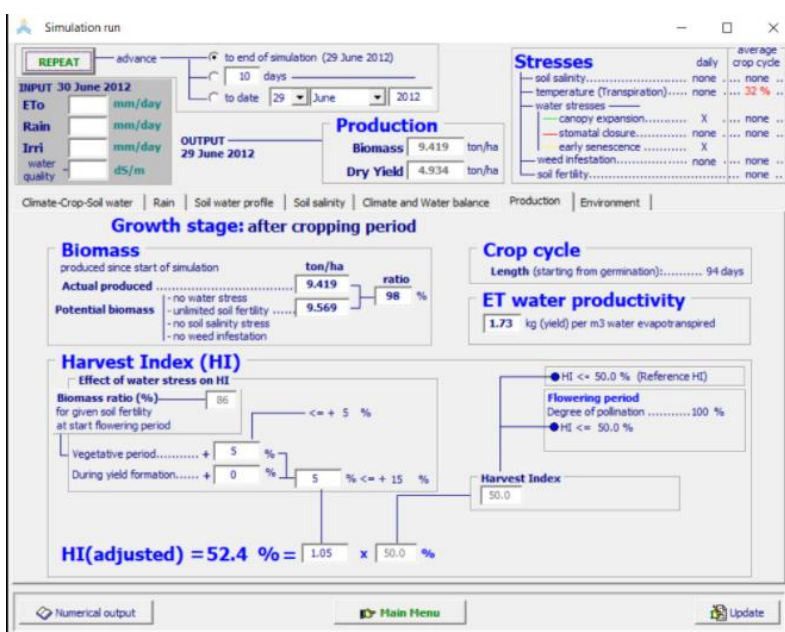


Рис. 3.5. Параметри продуктивності ярого ячменю у 2012 р. (ГМС Тернопіль)

За такою ж схемою проведено моделювання продукційного процесу ярого ячменю на території Тернопільської області у 1991 р. (рис. 3.6) та у 2007 р. (рис. 3.7).

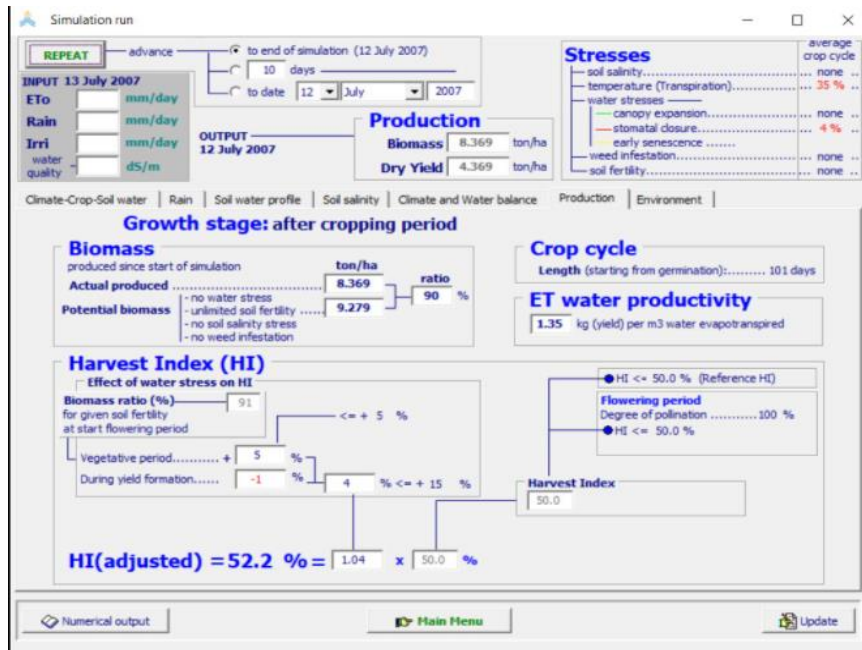


Рис. 3.6. Параметри продуктивності ярого ячменю у 2007 р. (ГМС Тернопіль)

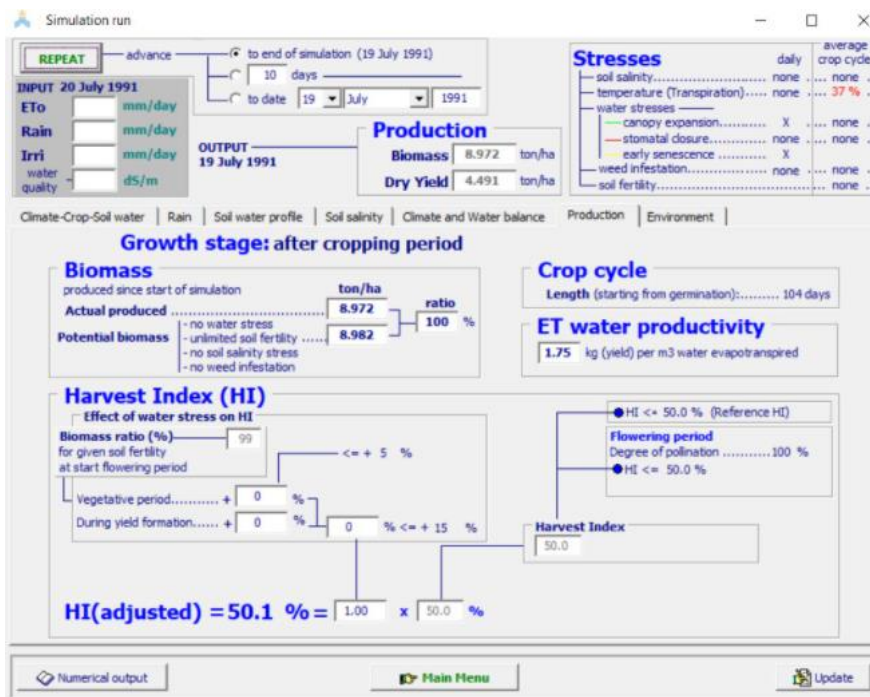


Рис.3.7. Параметри продуктивності ярого ячменю у 1991 р. (ГМС Тернопіль)

У 2007 р. загальна біомаса та суха біомаса врожаю дорівнюють відповідно 8,369 т/га та 4,369 т/га. У 1991 р. відповідно – 8,972 т/га та 4,491 т/га.

Моделювання продуктивності посівів ярого ячменю також проведено і для Хмельницької області за 1991, 2007 та 2012 роки (Додаток Ж). Результати розрахунків показали, що у 2012 р. загальна біомаса та суха біомаса врожаю ставила відповідно 8,881 т/га та 4,193 т/га, у 2007 р. – відповідно 8,369 т/га та 4,369 т/га, у 1991 р. відповідно – 4,298 т/га та 2,149 т/га.

У табл. 3.1 представлені основні результати розрахунків за моделлю AquaCrop.

Таблиця 3.1.

Показники продуктивності посівів ярого ячменю на території
Західно-Українського лісостепового краю

Рік	Загальна суха біомаса, т/га	Частка загальної біомаси від максимальної, %	Індекс врожаю, %	Суха біомаса врожаю, т/га	Коефіцієнт стресу, %		Фактична урожайність, ц/га
					за температурою повітря	за вологозабезпеченістю	
Тернопільська область							
1991	8,972	90	50,1	4,491	37	4	27,4
2007	8,369	90	52,2	4,369	35	4	26,2
2012	9,419	98	52,4	4,934	32	-	35,8
Хмельницька область							
1991	4,298	86	50,0	2,149	70	4	27,7
2007	8,369	90	52,2	4,369	26	4	25,7
2012	8,881	81	47,2	4,193	33	-	34,3

За даними табл. 3.1 можна зробити наступні висновки. У вегетаційний період в Західно-Українському лісостеповому краї в багаторічному розрізі вплив водного стресу не виступає ключовим чинником зниження продуктивності посівів ярого ячменю. Значено суттєвішим є вплив

термічного режиму. Чим менший коефіцієнт теплового стресу, тим більша продуктивність посівів. Саме підвищення температури повітря призводить до зменшення загальної сухої біомаси і біомаси урожаю ярого ячменю.

Таким чином, згідно з отриманими результатами, одним із основних напрямів адаптації технологій вирощування ярого ячменю в цьому регіоні є вибір сортів, які є менш вразливими до впливу високих температур повітря, особливо у період колосіння, і стійкими до явищ «захвату» і «запалу» зернівки.

ВИСНОВКИ

Проведено статистичний аналіз сум температур повітря вище 5, 10, 15°C на території Західно-Українського лісостепового краю за період 1961-2019 рр. Визначено закономірності просторового розподілу, сезонної та багаторічної динаміки сум температур повітря вище зазначених термічних рівнів. Встановлено, що починаючи з другої половини 1980-х років відбувається стійкий приріст сум температур у вегетаційний період. Середньорічний приріст сум температур вище 5°C становить 17°C/рік, сум активних температур вище 10°C – 25°C/рік, сум температур вище 15°C – 32°C/рік. У сезонному ході найінтенсивніше відбувається накопичення теплових ресурсів у періоди між датами переходу температури повітря через 10°C і 15°C. Найбільшим є приріст сум температур у третій декаді липня. Найбільш забезпеченими тепловими ресурсами є вегетаційні періоди в останні два десятиріччя. Максимальний градієнт сум температур вище різних рівнів спостерігається між 1991-2000 рр. і 2001-2010 рр.

Досліджено закономірності просторового розподілу і багаторічної динаміки запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на останню декаду кожного місяця у період весняно-літньої вегетації. Встановлено, що середні запаси продуктивної вологи у метровому шарі зональних типів ґрунтів знаходяться в межах інтервалів коливань вологовмісту ґрунтів, сприятливого для росту і розвитку основних польових культур у критичні за вологопотребою періоди. У багаторічному ході запасів продуктивної вологи у ґрунті з початку 1990-х років спостерігається тенденція до їх зменшення. За період 1951-2019 рр. останнє десятиріччя характеризується найсуттєвішим зниженням вологовмісту ґрунтів у вегетаційний період.

Досліджено зміни продуктивності посівів ярого ячменю на території Західно-Українського лісостепового краю за різних умов тепло- і вологозабезпеченості на основі моделі ФАО AquaCrop. Проведено адаптацію моделі AquaCrop для регіональних розрахунків шляхом

налаштування програми за базовими елементами системи землеробства, агрометеорологічними умовами, властивостями ґрунтів та специфікою агрофітотехнологій. У процесі чисельних експериментів із моделлю визначено, що метод розрахунку евапотранспірації за Харгрейвом забезпечує достатню точність результатів і може бути використаний в моделі замість методу Пенмана-Монтейта.

За результатами моделювання продукційного процесу ярого ячменю встановлено, що водний стрес у вегетаційний період за ступенем свого прояву не є основним чинником зниження продуктивності посівів. Значно суттєвішим є вплив термічного режиму. Чим менший коефіцієнт теплового стресу у вегетаційний період, тим більша продуктивність посівів. Таким чином, одним із основних напрямів адаптації технологій вирощування ярого ячменю у Західно-Українському лісостеповому краї до зміни агрокліматичних ресурсів є вибір сортів, менш вразливих до впливу високих температур повітря, особливо у період колосіння, і стійких до явищ «захвату» і «запалу» зернівки

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрокліматичний довідник по території України. Довідник / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенко. – Кам'янець-Подільський: Український гідрометеорологічний центр, 2011. 108 с.
2. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ: ВЕГО, 2014. 16 с.
3. Балабух В. О., Малицька Л. В. Динаміка середньорічних показників температури повітря і кількості опадів в окремих ґрунтово-кліматичних зонах України /Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти: колективна монографія. ННЦ “Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського”. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.
4. Балабух В. О., Малицька Л. В. Оцінювання сучасних змін термічного режиму України. *Геоінформатика*. 2017. № 4. С. 34-47.
5. Балабух В.О. Регіональні прояви глобальної зміни клімату в Тернопільській області та можливі їх зміни до середини ХХІ ст. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Географія*. 2014. №1. С. 43-54.
6. Барсукова О.А. Агрокліматична оцінка продуктивності ярого ячменю в Україні. *Вісник Одеського держ. еколог. ун-ту*. 2007. Вип. 4. С. 213-218.
7. Барсукова О.А. Модель формування продуктивності ярого ячменю. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2006. С 128-134.
8. Бердін С.І., Ткаченко О.М Формування структури продуктивності посівів ячменю ярого в умовах північно-східного Лісостепу України. *Вісник Сумського нац. аграрн. ун-ту. Сер.: Агрономія і біологія*. 2013. Вип. 11 (26). С. 152-155.
9. Борисоник З.Б. Яровойячмень. Москва: Колос, 1974. С. 255.
10. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. 328 с.

11. Веремеєнко С. І., Фурманець О. А. Річна динаміка температури та вологості темно-сірого ґрунту Західного Лісостепу України. *Вісник ХНАУ: Ґрунтознавство*. 2013. № 1. С. 23-30.
12. Ґрунтознавство: підручник / за ред Т. Г. Тихоненка. Київ: Вища освіта, 2005. 703 с.
13. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень: колективна монографія. К.: Ніка-Центр, 2013. 308 с.
14. Зміна клімату та сільське господарство в Україні: що варто знати фермерам? / Проект «Німецько-Український агрополітичний діалог» – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimatu
15. Екологічний паспорт Львівської області за 2019 рік. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/snhp>
16. Екологічний паспорт Тернопільської області за 2019 рік. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/snhp>
17. Екологічний паспорт Хмельницької області за 2019 рік. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/snhu>
18. Земельні ресурси: навчальний посібник / за ред. З.П. Паньків. Львів: ВЦ ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 272 с.
19. Інформаційно-аналітичний портал АПК України. Поле онлайн [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agro.me.gov.ua/ua/map>
20. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
21. Коковіхін С. В., Марковська О. Є., Зоріна Г. Г. Використання інформаційно-програмного комплексу AQUACROP для моделювання водокористування та врожайності сільськогосподарських культур у зрошуваній сівозміні. *Зрошуване землеробство: сьогодні, проблеми,*

перспективи: матеріали регіон. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Дніпро, 2-3 листопада 2017 р.). Дніпро: ДДАЕУ. 2017. С. 107-109.

22. Краковська С. В., Паламарчук Л. В., Гнатюк Н. В., Шпиталь Т. М., Шедеменко І. П. Зміни поля опадів в Україні у ХХІ ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*. 2017. № 4 (64). С. 62-74.

23. Краковська С. В., Гнатюк Н. В., Шпиталь Т. М., Паламарчук Л. В. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2016. Вип. 268. С. 33-44/

24. Краковська С. В., Гнатюк Н. В., Шпиталь Т. М. Можливі сценарії кліматичних умов у Тернопільській області впродовж ХХІ ст. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Географія*. 2014. №. 1. С. 55-67.

25. Круківська А.В. Агрокліматична оцінка умов вологозабезпечення основних зернових культур в Україні. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2008. №.3. С. 109-116.

26. Круківська А.В. Особливості просторового розподілу і міжсезонної динаміки запасів продуктивної вологи в ґрунті на території України. *Фізична географія та геоморфологія*. 2014. Вип. 3(75). С. 132-142.

27. Круківська А.В. Оцінка сприятливості агрогідрологічних ресурсів території України для вирощування ярого ячменю. *Наук. часопис Нац. педагогічного ун-ту імені М.П. Драгоманова. Серія 4. Географія і сучасність*. 2015. Вип. 33. С. 56-63.

28. Круківська А.В., Ковальчук І.П. Екологічні ризики сільськогосподарського землекористування в Україні в умовах змін клімату / Кліматичні ризики функціонування галузей економіки в умовах зміни клімату: монографія / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: ТЕС, 2018. С. 482-497.

29. Лихочвор В. В. Рослинництво: технології вирощування сільськогосподарських культур: підручник. Київ: ЦНЛ, 2004. 808 с.

30. Ляшенко Г.В. АгроклиматическоерайонированиеУкраины. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2008. Вып. 3. С. 98-108.
31. Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: підручник. Київ: Знання, 2005. 518 с.
32. Мищенко З.А. Агроклиматология: учебник. Київ: КНТ. 2009. 512 с.
33. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013. № 4. С.32-39.
34. Паламарчук Л. В., Гнатюк Н. В., Краковська С. В., Шедеменко І. П., Дюкель Г. О. Сезонні зміни клімату в Україні в ХХІ столітті. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2010. Вып. 259. С.104-120.
35. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів. Львів: Вид-во центр. ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 270 с.
36. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса: ТЕС, 2012. 630 с.
37. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Барсукова О. А. Вплив змін клімату на агрокліматичні умови вегетаційного періоду основних сільськогосподарських культур. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 20. С. 61-70.
38. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Барсукова О. А., Оцінка впливу змін агрокліматичних ресурсів України на формування урожайності ярого ячменю. / *Вісник Одеського держ. еколог. ун-ту*. 2014. Вып. 17. С. 34-45.
39. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: підручник. Одеса: Екологія, 2013. 430 с.
40. Природа Львівської області / за ред. К. І. Геренчука. Львів: Вища школа, 1981. 156 с.
41. Природа Тернопільської області / за ред. К. І. Геренчука. Львів: Вища школа, 1979. 167 с.
42. Природа Хмельницької області / за ред. К. І. Геренчука. Львів: Вища школа, 1980. 152 с.

43. Свідерська С.М. Оцінка продукційного процесу картоплі в умовах зміни клімату в Східному та Західному Лісостепу. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2015. №16. С. 120-127.
44. Степаненко С. М., Польовий А. М., Дем'янюк О. С., Дронова О. О. Зміни режиму опадів в Україні. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 2. С. 10-16.
45. Фурманець, О. А., Безносова О. О. Зміна агрокліматичних ресурсів Західного лісостепу України в контексті глобальних кліматичних зрушень. *Вісник Нац. Ун-ту водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2016. Вип. 3. С. 155-164.
46. AquaCropReferencemanual (Version 6.0). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.fao.org/aquacrop/en>
47. AquaCrop – The FAO CropModeltoSimulateYieldResponsetoWater: I. ConceptsandUnderlyingPrinciples / [Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., Fereres D.] // *AgronomyJournal*. 2009. Vol. 101(3). – P. 26-37.
48. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. *Cropevapotranspiration*. FoodandAgricultureOrganizationoftheUnitedNations. Rome, 1998. 300 p.
49. DirkRaes. AquaCroptraininghandbooks. Book I. *UnderstandingAquaCrop*. FAO. Rome, 2017. 49 p.
50. Farahani H. J., Izzi G., Oweis T. Y. ParameterizationandevaluationoftheAquaCropmodelforfullanddeficitirrigatedcotton. *Agronomyjournal*. 2009. v. 101. no. 3, P. 469–476.
51. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. LongtermanalysisofheatwavesinUkraine // *InternationalJournalofClimatology*. 2014. Vol. 34(5). P. 1642-1650.
52. SimulationofspringbarleyyieldindifferentclimaticzonesofNorthernandCentralEurope: A comparisonofnynecropmodels. *FieldCropsResearchVolume* 133. 2012. P. 23-36.
53. SnizhkoS., ShevchenkoO., BuznytskyiB., Krukivska A., MatviienkoM. TheprojectionsofairtemperatureintheNorthernregionofUkrainefollowingtheintermediatescenario (RCP 4.5) andthehigh-endscenario (RCP 8.5). Conference

Proceedings. XIV International Scientific Conference "Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment", Nov. 2020, Vol. 2020. doi:<https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056035>

54. Tavakoli A. R., Moghadam M.M., Sepaskhah A.R. Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and drainage condition in Iran. *Agricultural Water Management*. 2015.P. 136-146. doi: [10.1016/j.agwat.2015.07.020](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.020)

55. Trnka M. et al. Agroclimatic conditions in Europe under climate change *Global Change Biology*. 2011. Vol. 17, No. 7. P. 2298–2318.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А.1

Емпіричний розподіл сум температур повітря вище 5°C

Львівська область

Броди



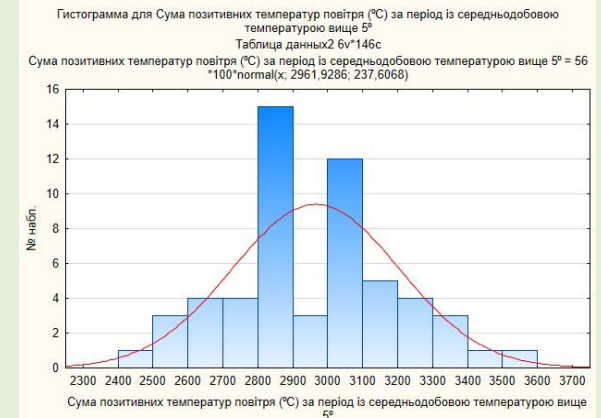
Тернопільська область

Бережани



Хмельницька область

Ямпіль



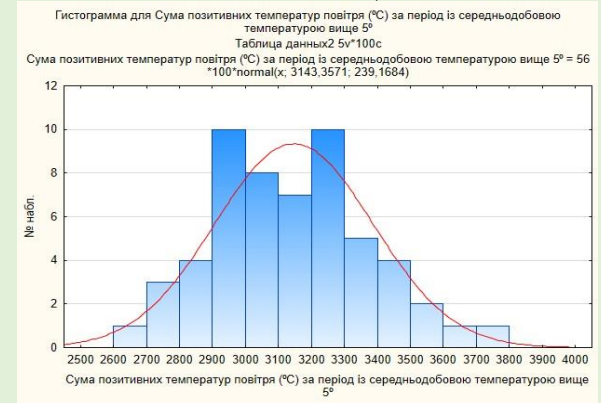
Кам'янка-Бузька



Чортків



Нова Ушиця

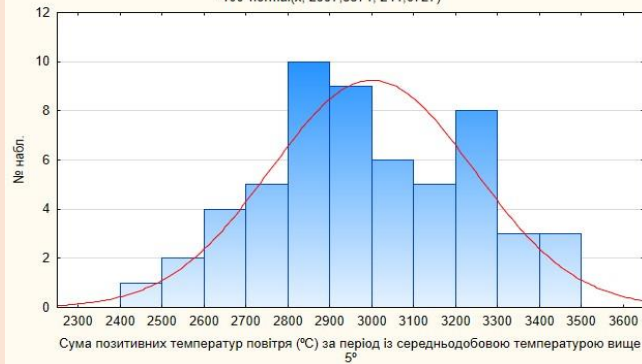


продовження Додатку А.1

Рава Руська

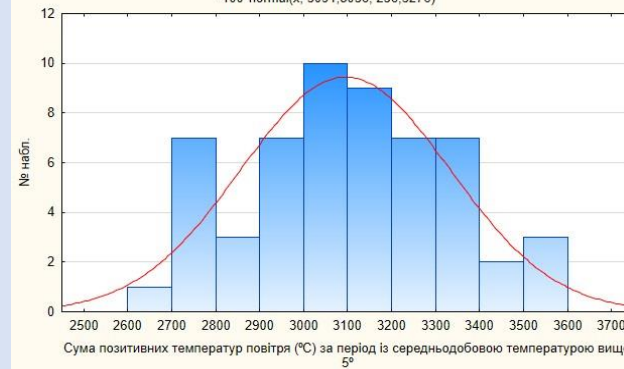
Гистограма для Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5°
Таблиця даних: 2 6v*146с

Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5° = 56
*100*normal(x; 2997,3571; 241,6727)

**Кременець**

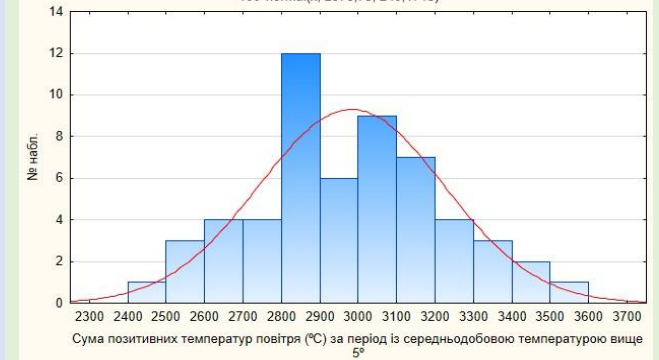
Гистограма для Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5°
Таблиця даних: 2 6v*146с

Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5° = 56
*100*normal(x; 3091,8036; 236,5276)

**Шенетівка**

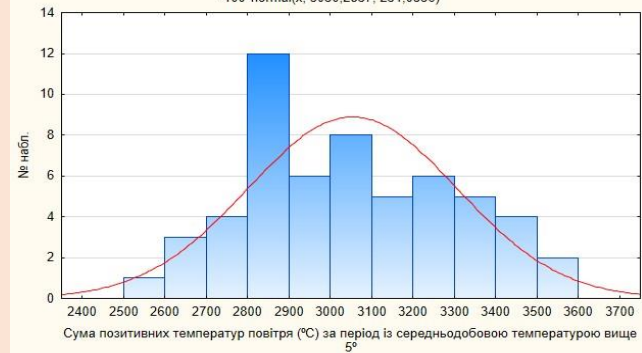
Гистограма для Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5°
Таблиця даних: 2 6v*100с

Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5° = 56
*100*normal(x; 2978,75; 240,1715)

**Яворів**

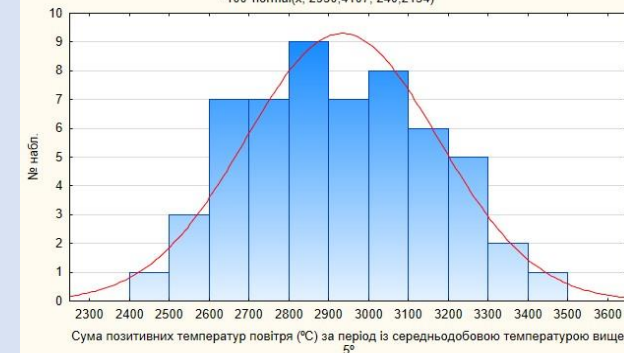
Гистограма для Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5°
Таблиця даних: 2 6v*146с

Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5° = 56
*100*normal(x; 3050,2857; 251,0336)

**Тернопіль**

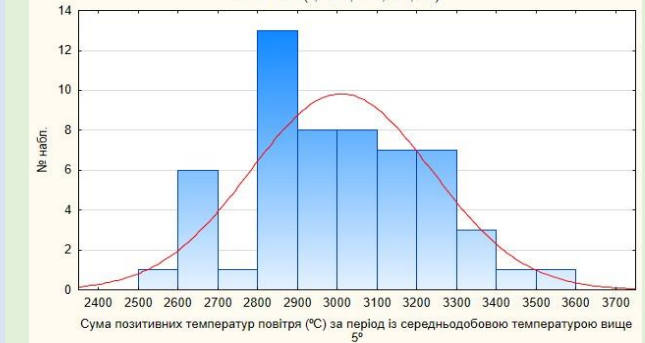
Гистограма для Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5°
Таблиця даних: 2 6v*146с

Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5° = 56
*100*normal(x; 2930,4107; 240,2154)

**Хмельницький**

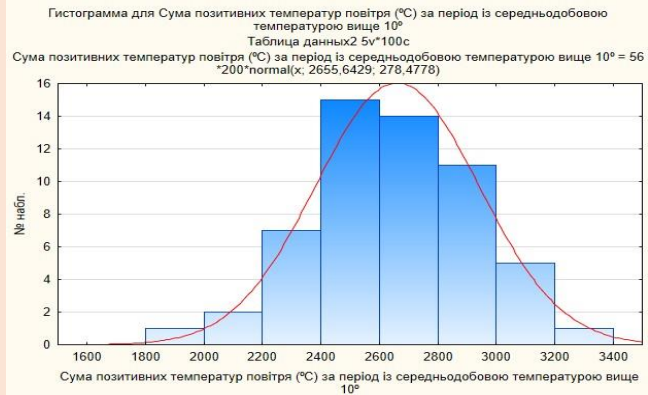
Гистограма для Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5°
Таблиця даних: 2 5v*100с

Сума позитивних температур повітря (°C) за період із середньодобовою температурою вище 5° = 56
*100*normal(x; 3006,7857; 227,333)



Емпіричний розподіл сум температур повітря вище 10°C

Львівська область Броди



Кам'янка-Бузька



Тернопільська область Бережани



Чортків



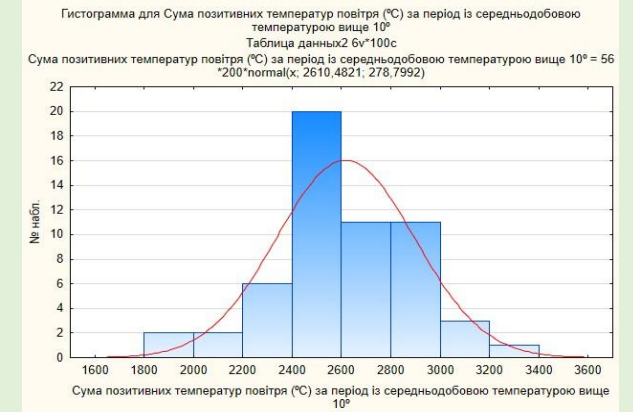
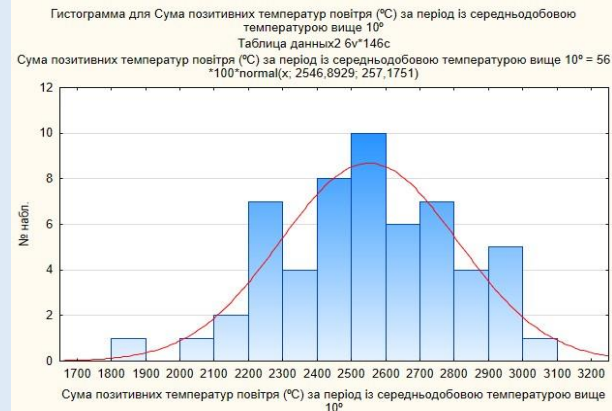
Хмельницька область Ямпіль



Нова Ушиця



продовження Додатку А.2

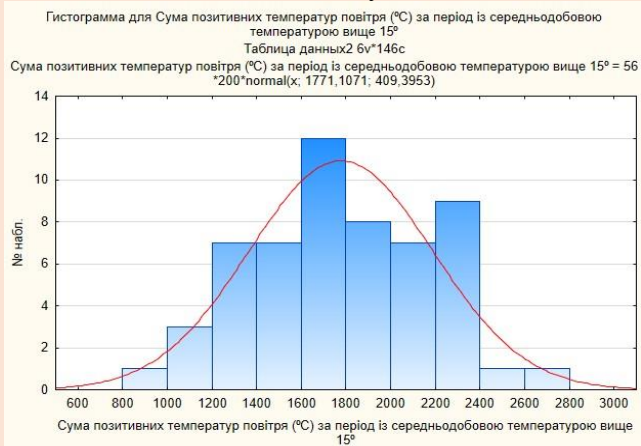
Рава Руська**Кременець****Шепетівка****Яворів****Тернопіль****Хмельницький**

Емпіричний розподіл сум температур повітря вище 15°C

Львівська область Броди



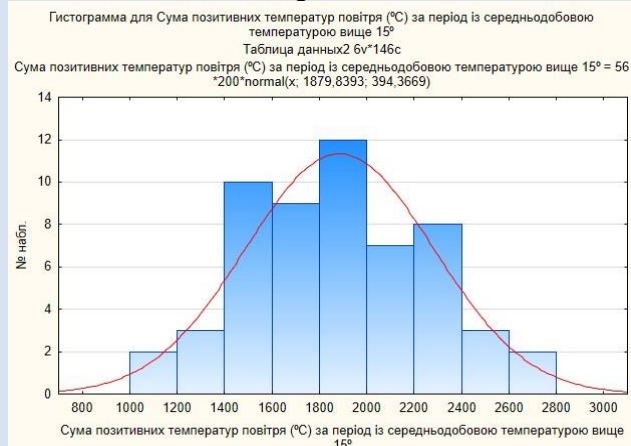
Кам'янка-Бузька



Тернопільська область Бережани



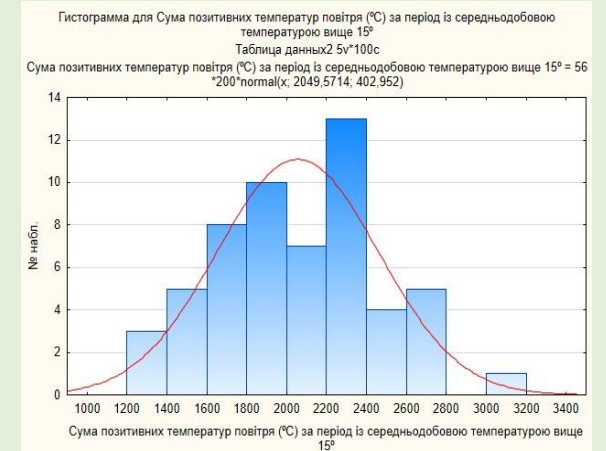
Чортків



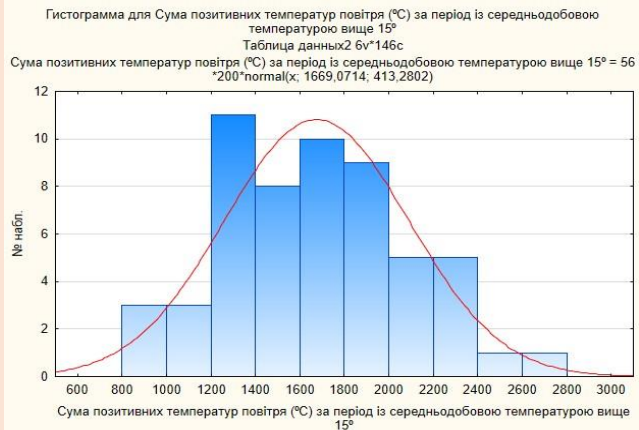
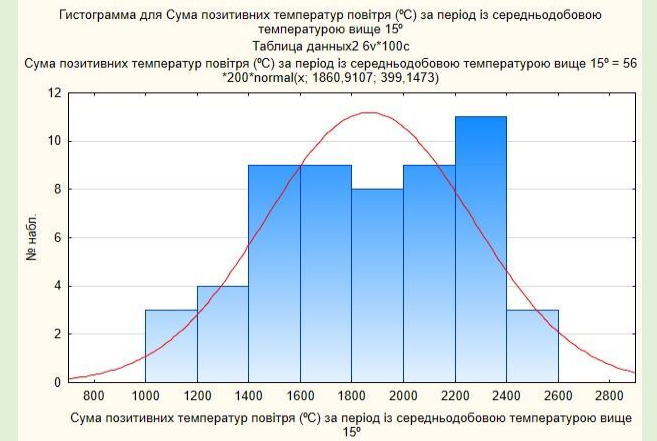
Хмельницька область Ямпіль



Нова Ушиця

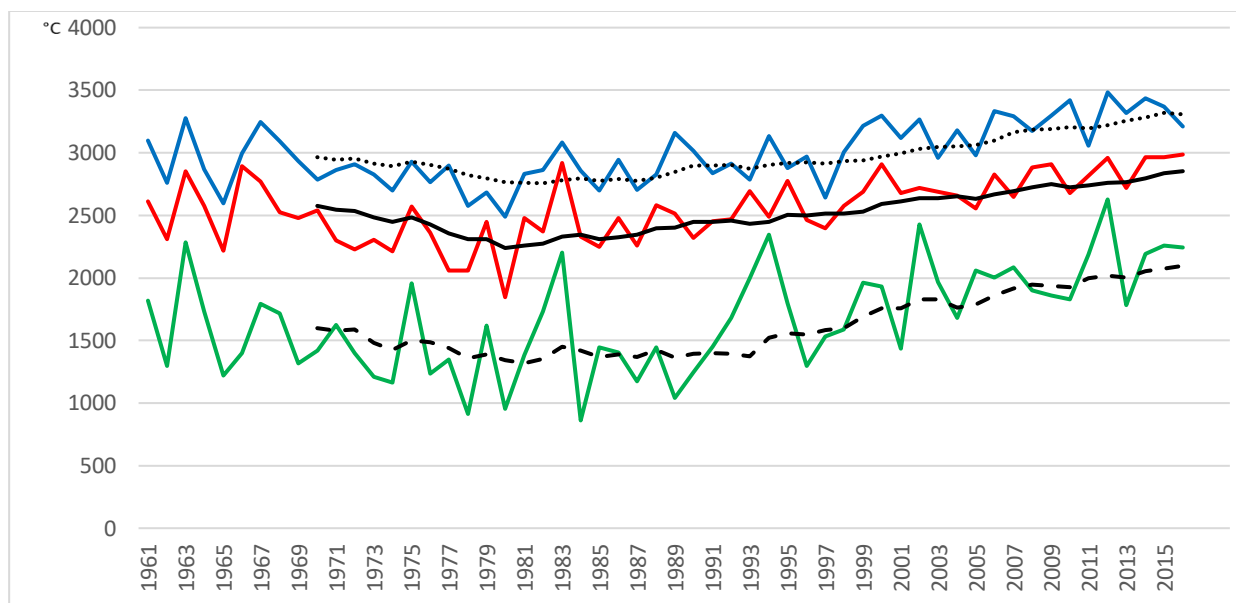


продовження Додатку А.3

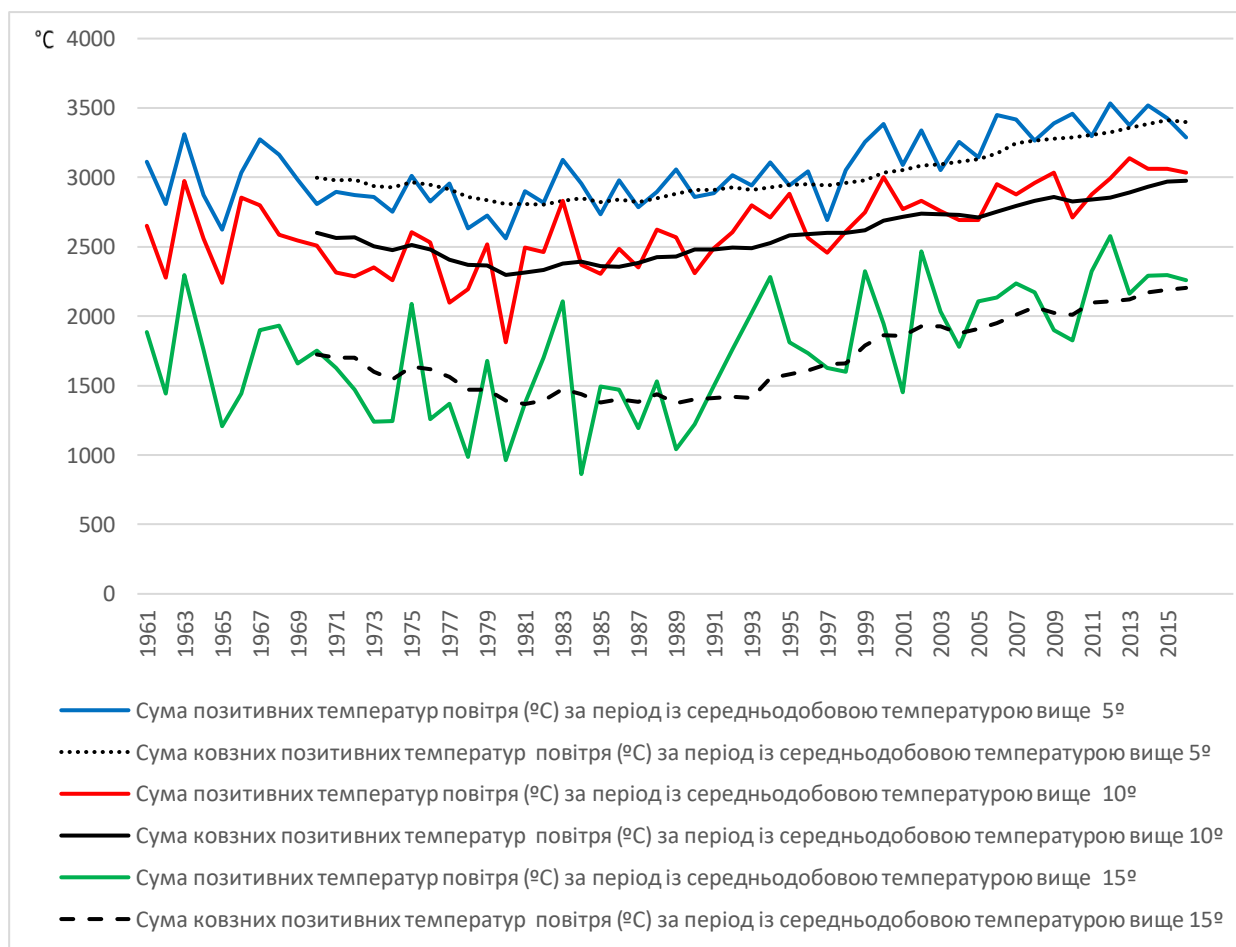
Рава Руська**Кременець****Шепетівка****Яворів****Тернопіль****Хмельницький**

Багаторічна динаміка сум температур повітря вище 5, 10, 15°C (Львівська область)

Рава-Руська

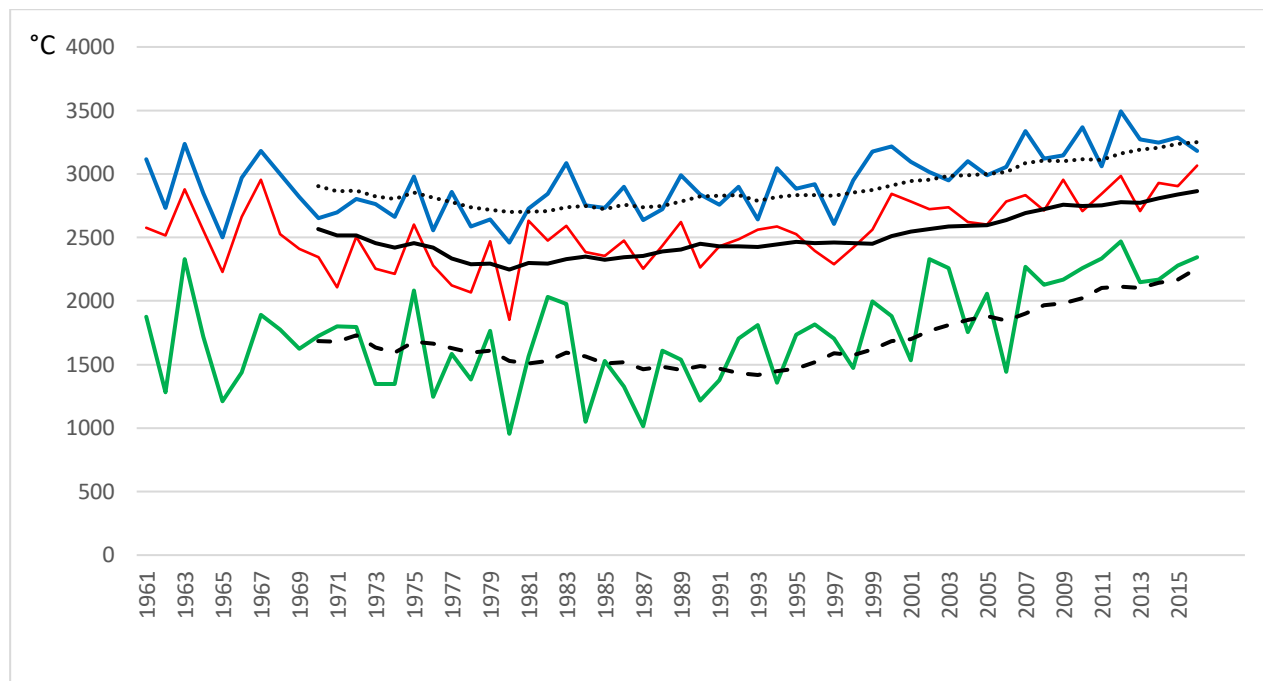


Яворів

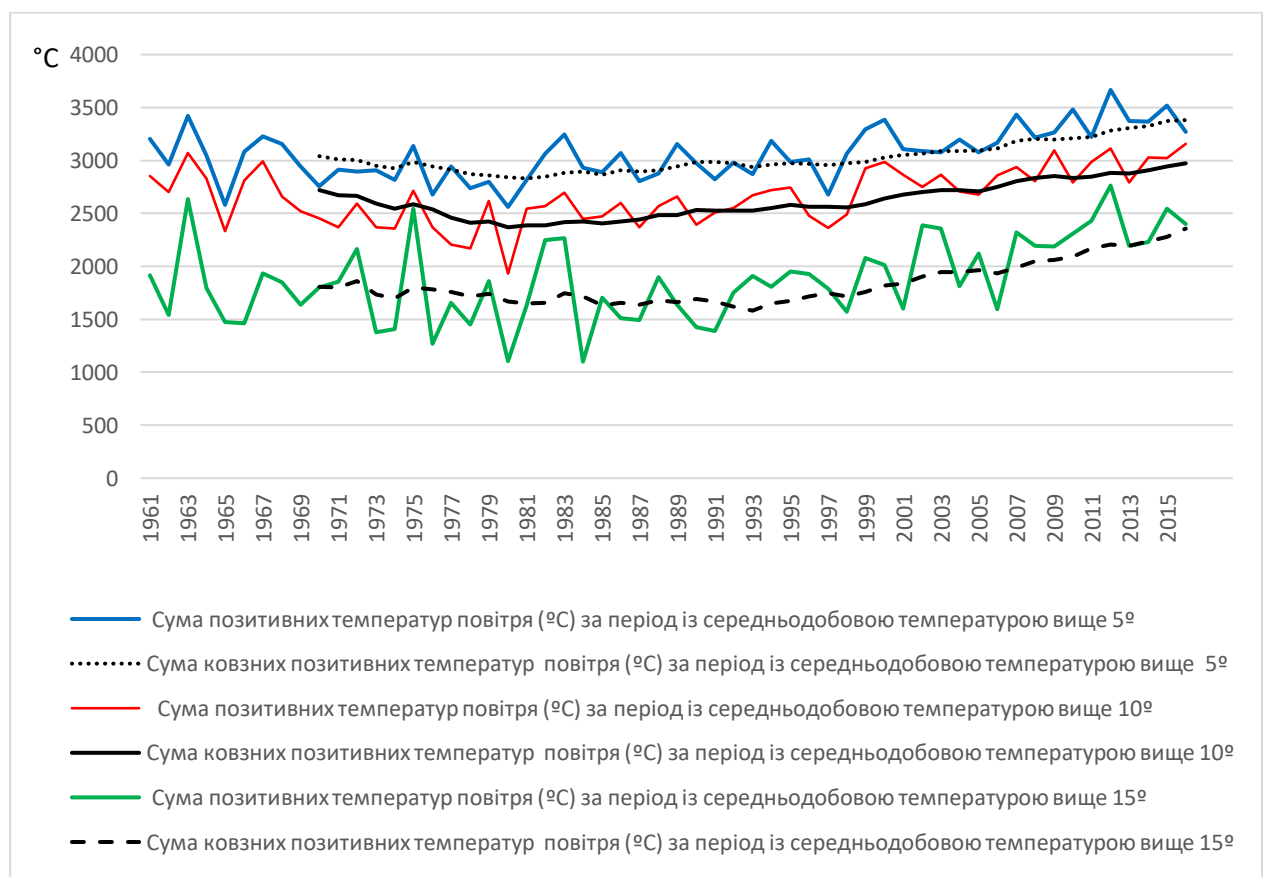


Багаторічна динаміка сум температур повітря вище 5, 10, 15°C (Тернопільська область)

Тернопіль

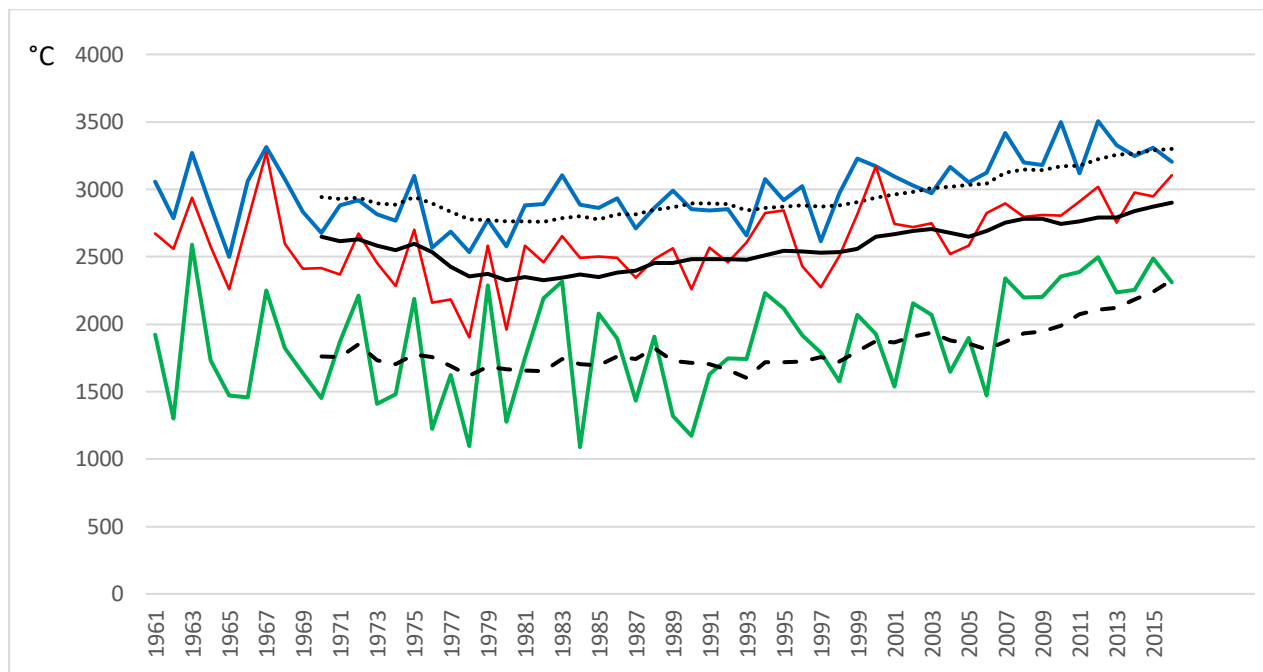


Чортків

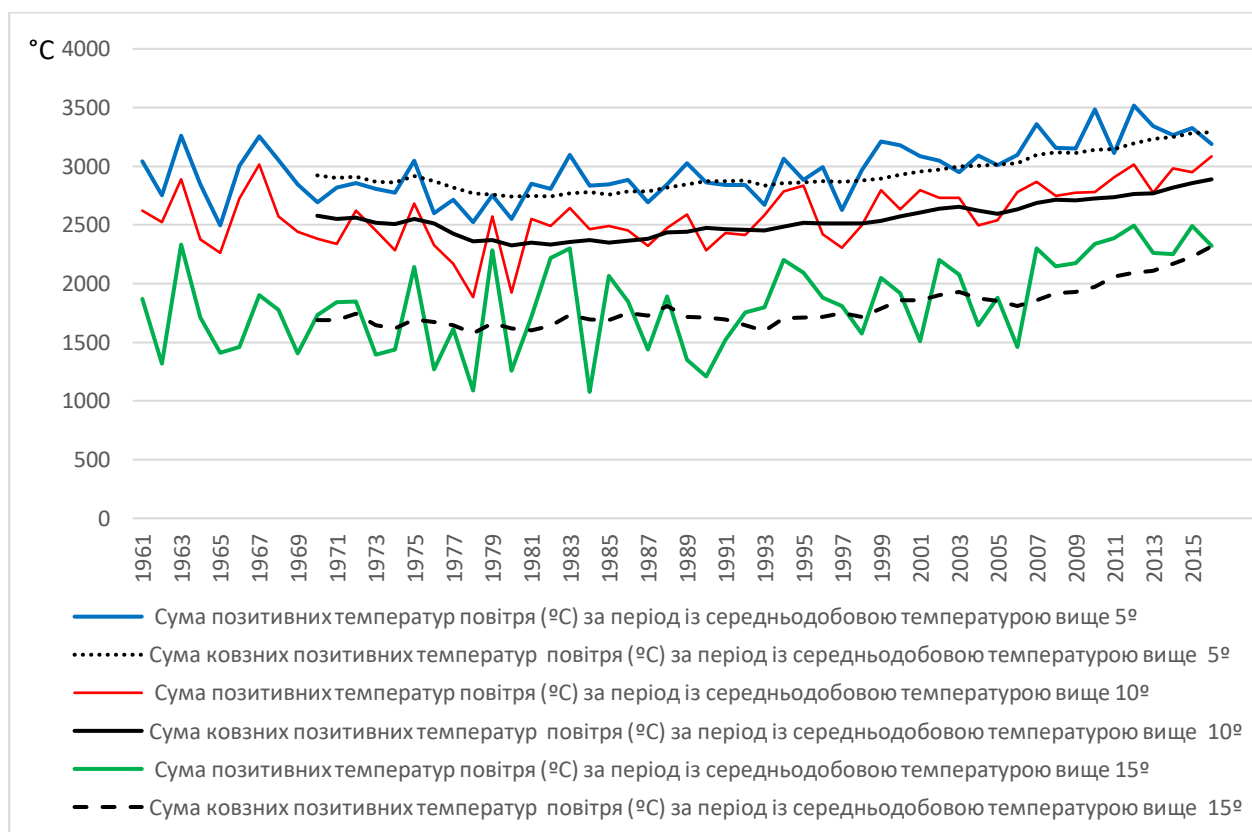


Багаторічна динаміка сум температур повітря вище 5, 10, 15°C (Хмельницька область)

Шепетівка

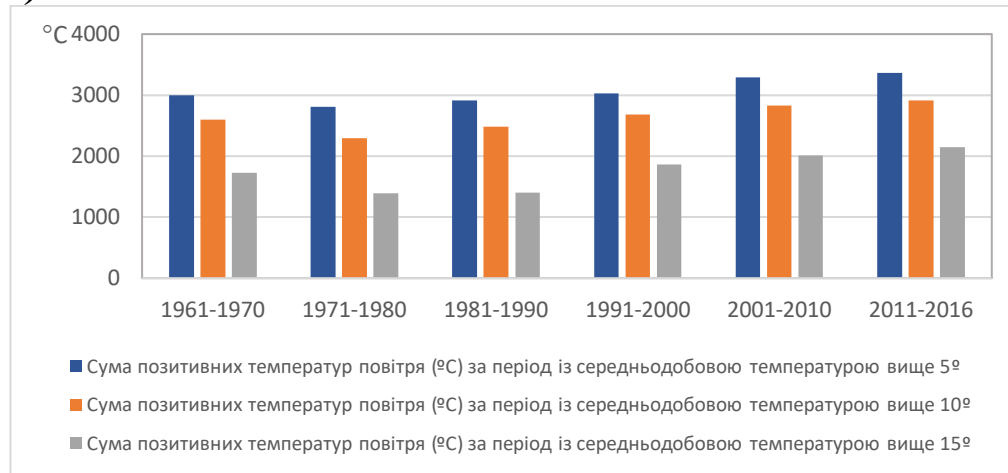


Ямпіль

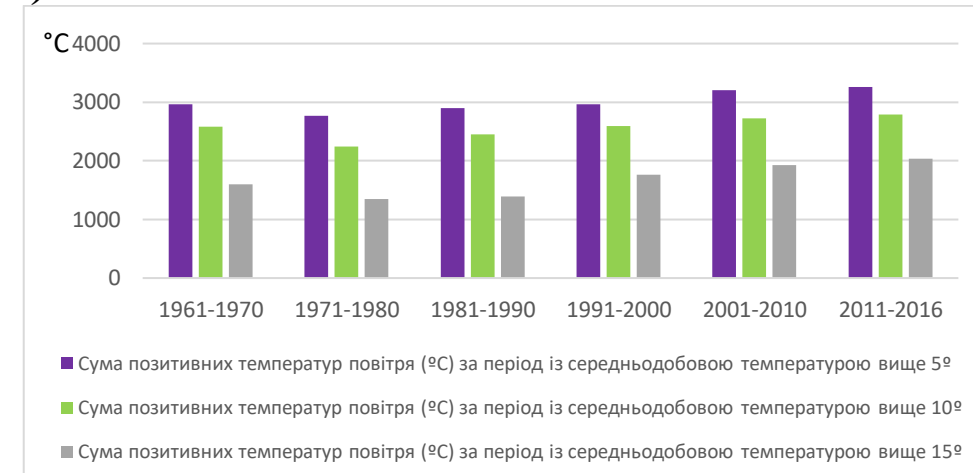


ДОДАТОК В.1

а)



б)



в)

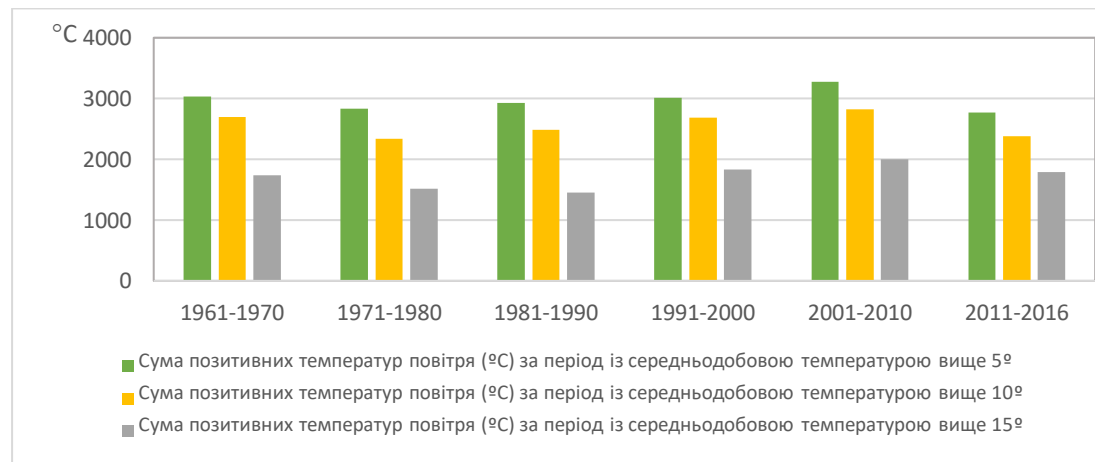
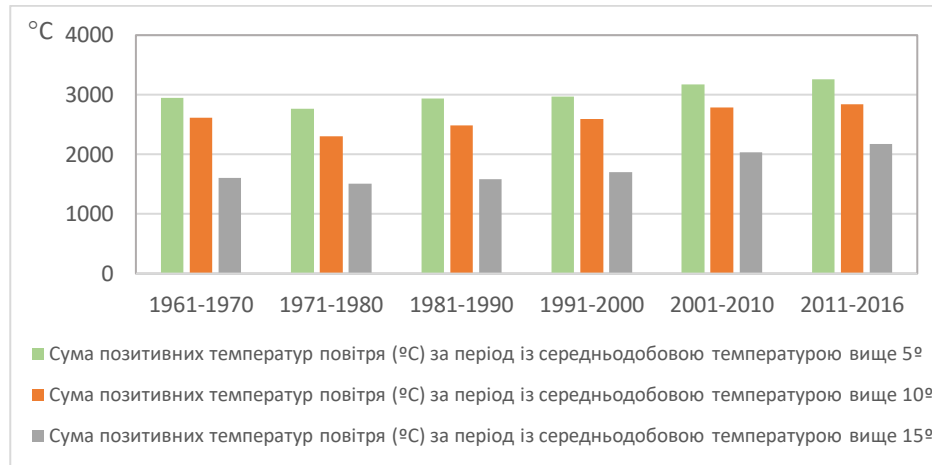


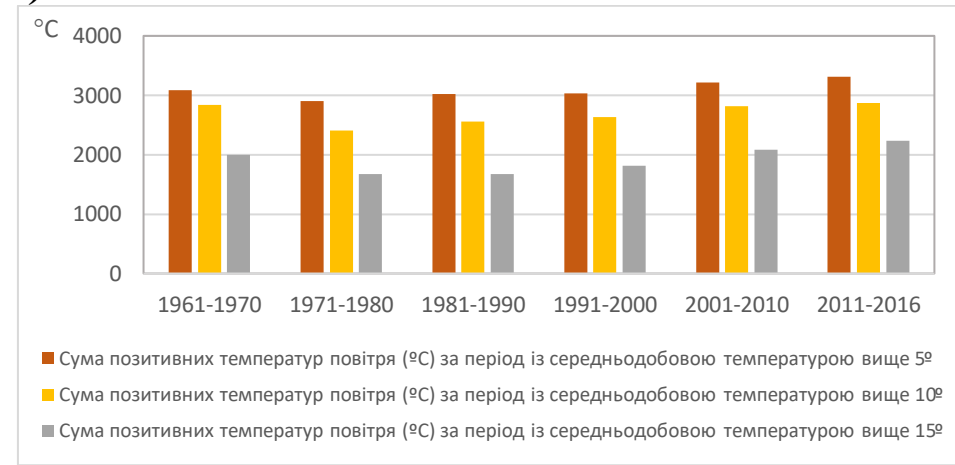
Рис. В.1. Середні по десятиріччях суми температур повітря (°C) на території Львівської області:
Яворів(а); Рава Руська (б); Броди (в)

ДОДАТОК В.2

а)



б)



в)

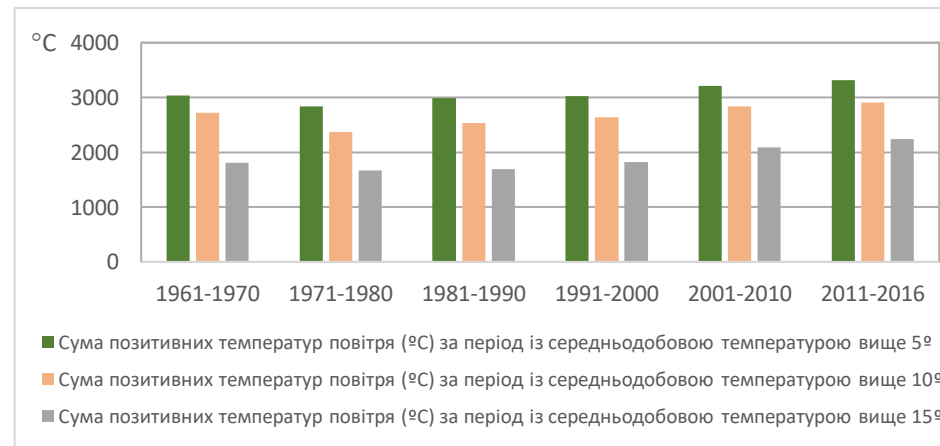


Рис. В.2. Середні по десятиріччях суми температур повітря (°C) на території Тернопільської області:
Бережани (а); Кременець (б); Чортків (в)

ДОДАТОК В.3

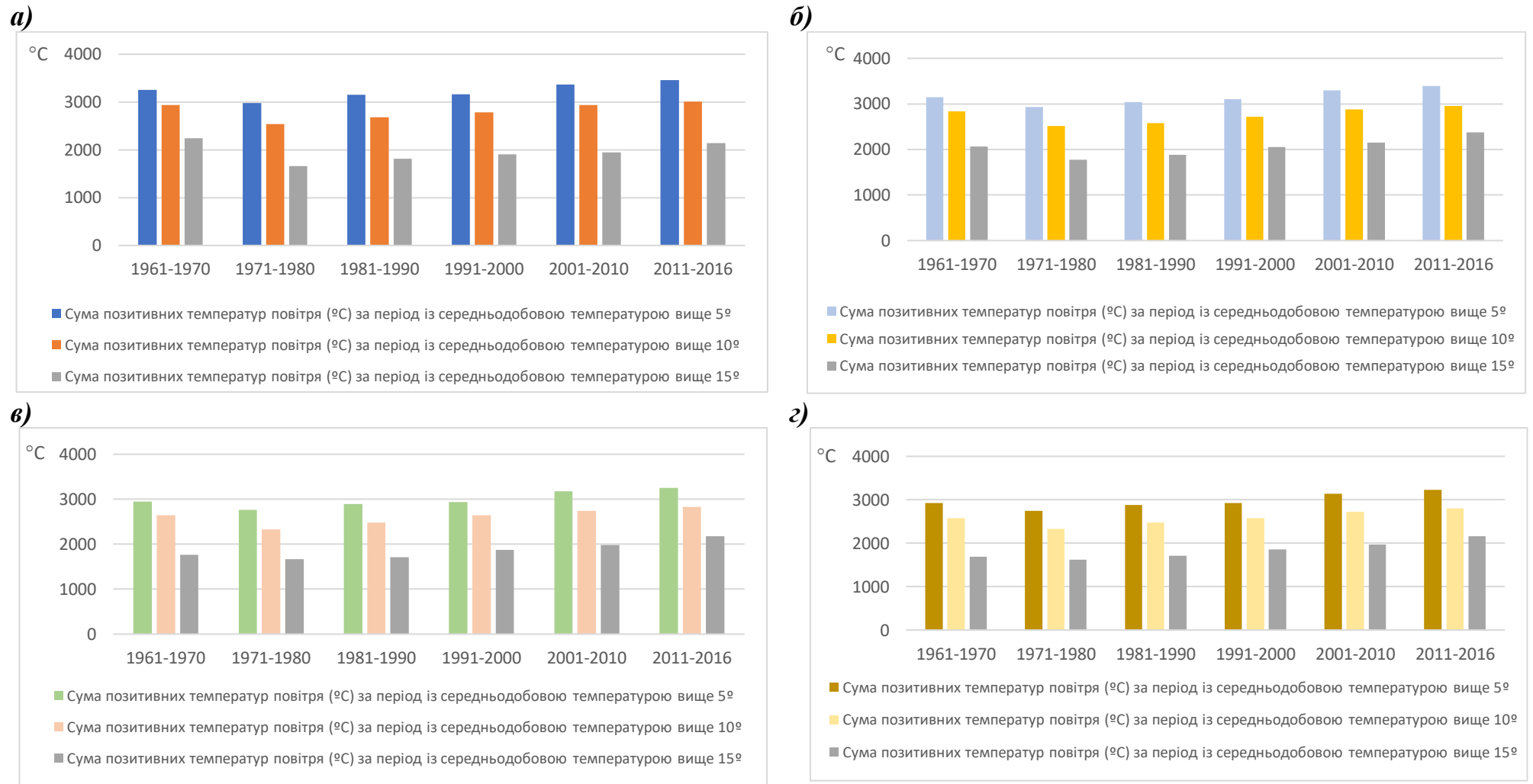
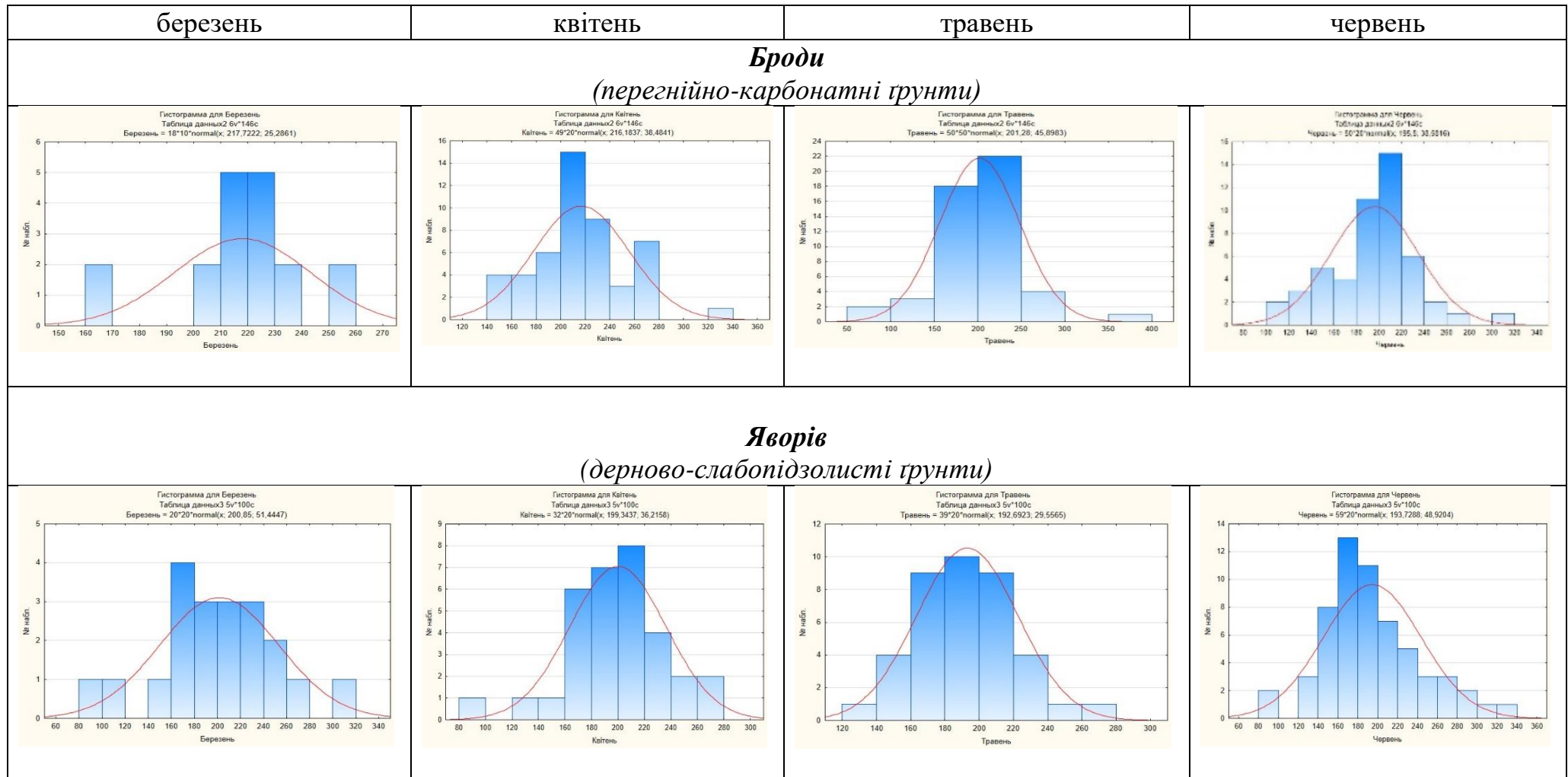


Рис. В.3. Середні по десятиріччях суми температур повітря (°C) на території Хмельницької області:
Кам'янець-Подільський (а); Нова Ушиця (б); Шепетівка (в); Ямпіль (г)

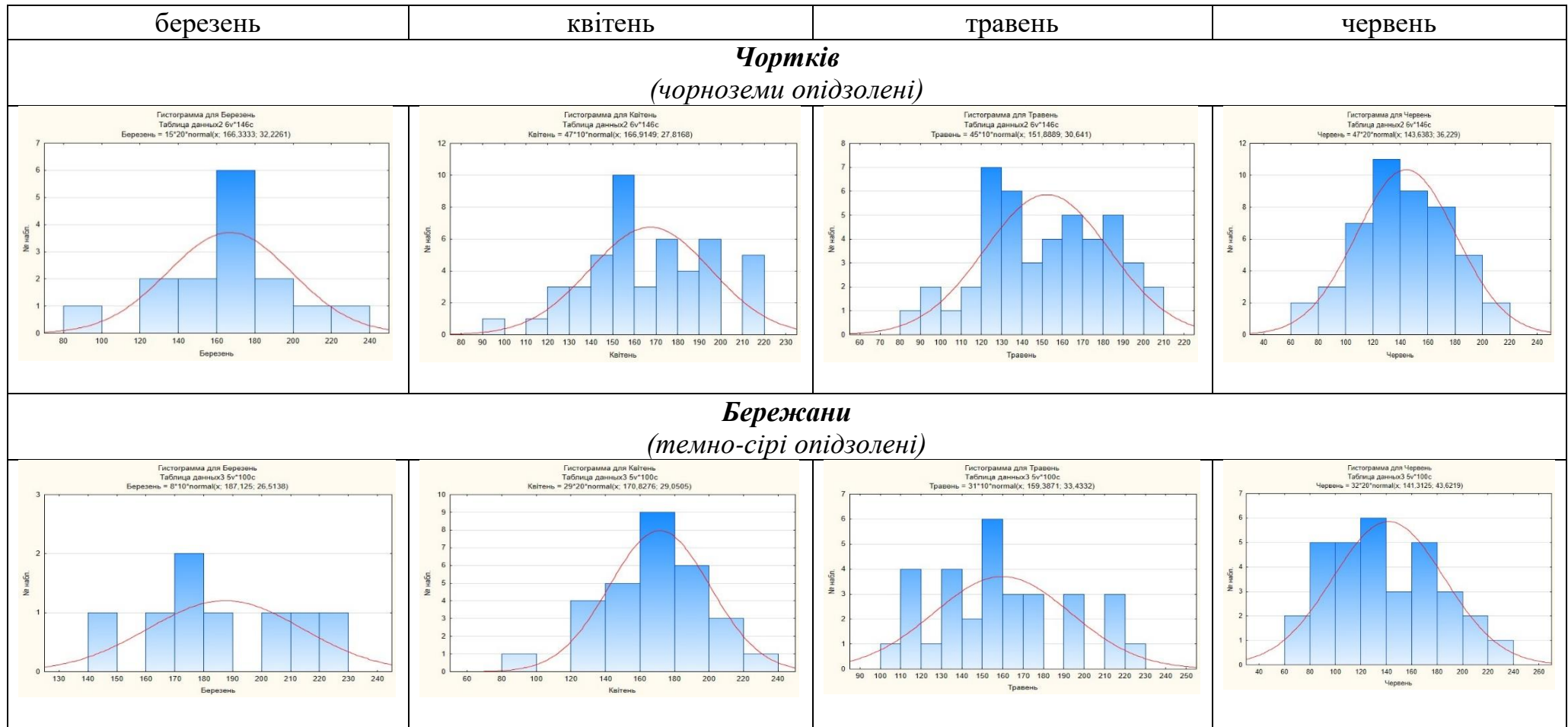
ДОДАТОК Д.1

Емпіричний розподіл запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см у на третю декаду місяця у вегетаційний період (Львівська область)



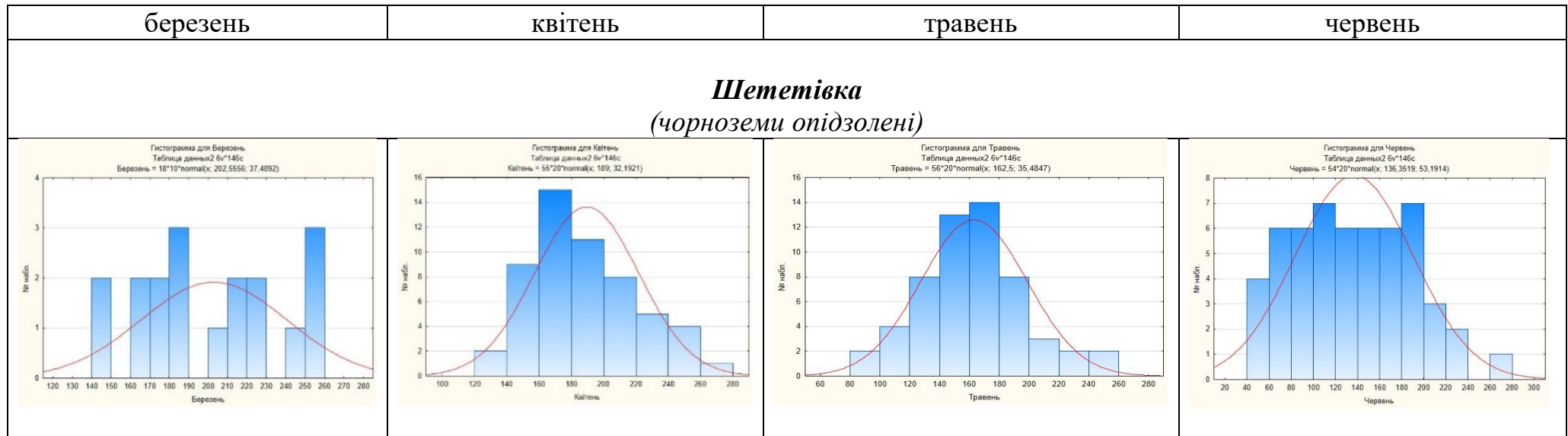
ДОДАТОК Д.2

Емпіричний розподіл запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см у на третю декаду місяця у вегетаційний період (Тернопільська область)



ДОДАТОК Д.3

**Емпіричний розподіл запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0-100 см у на третю декаду місяця
у вегетаційний період (Хмельницька область)**



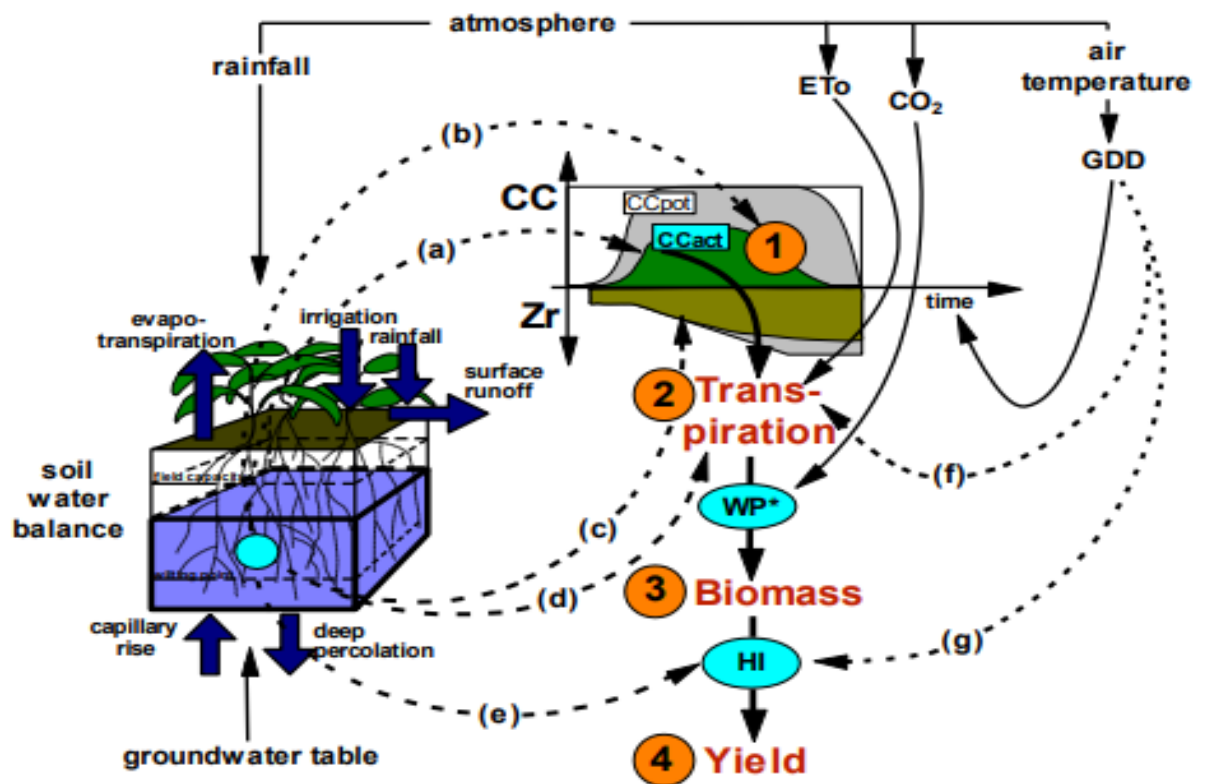


Рис. Е.1. Розрахункова схема AquaCrop із зазначенням 4 етапів процедури та процесів (пунктирними стрілками), що визначають водний (від *a* до *e*) і температурний стреси (від *f* до *g*)[49]

Результати моделювання продуктивності ярого ячменю на території Хмельницької області

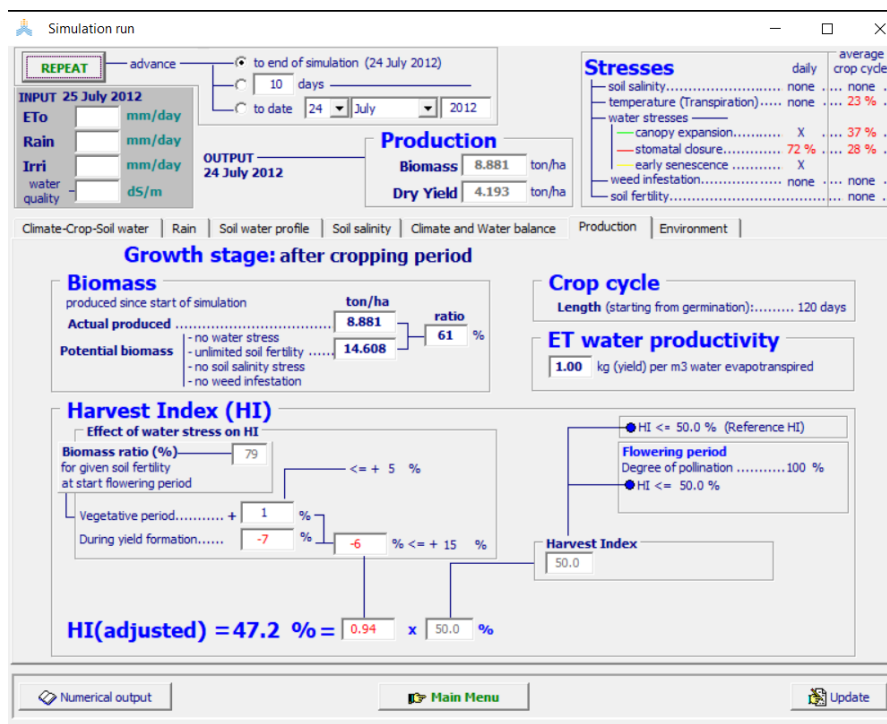


Рис. Ж.1. Параметри продуктивності ярого ячменю у 2012 р.
(ГМС Хмельницький)

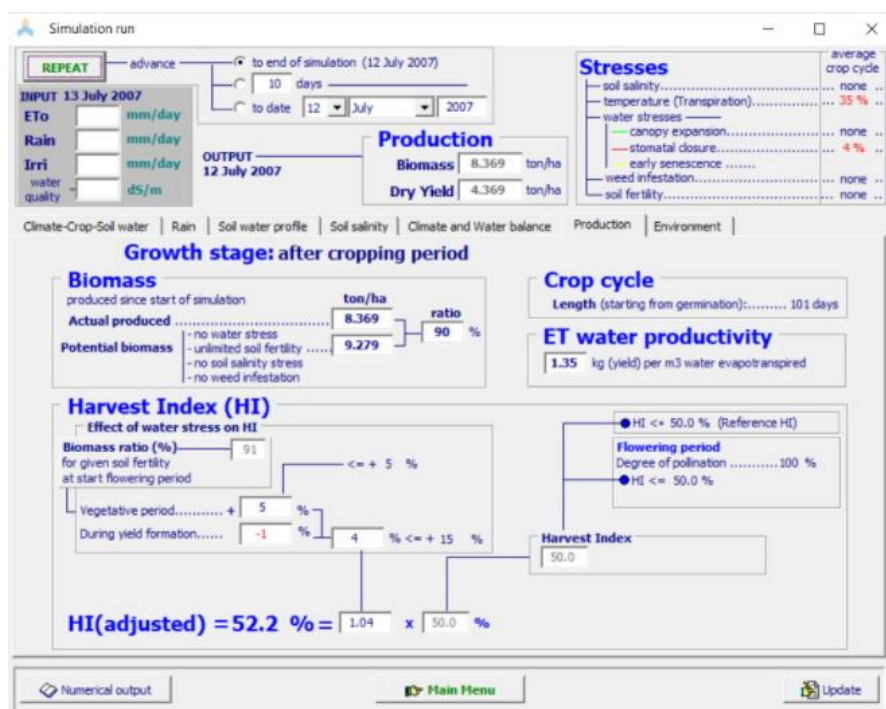


Рис. Ж.2. Параметри продуктивності ярого ячменю у 2007 р.
(ГМС Хмельницький)

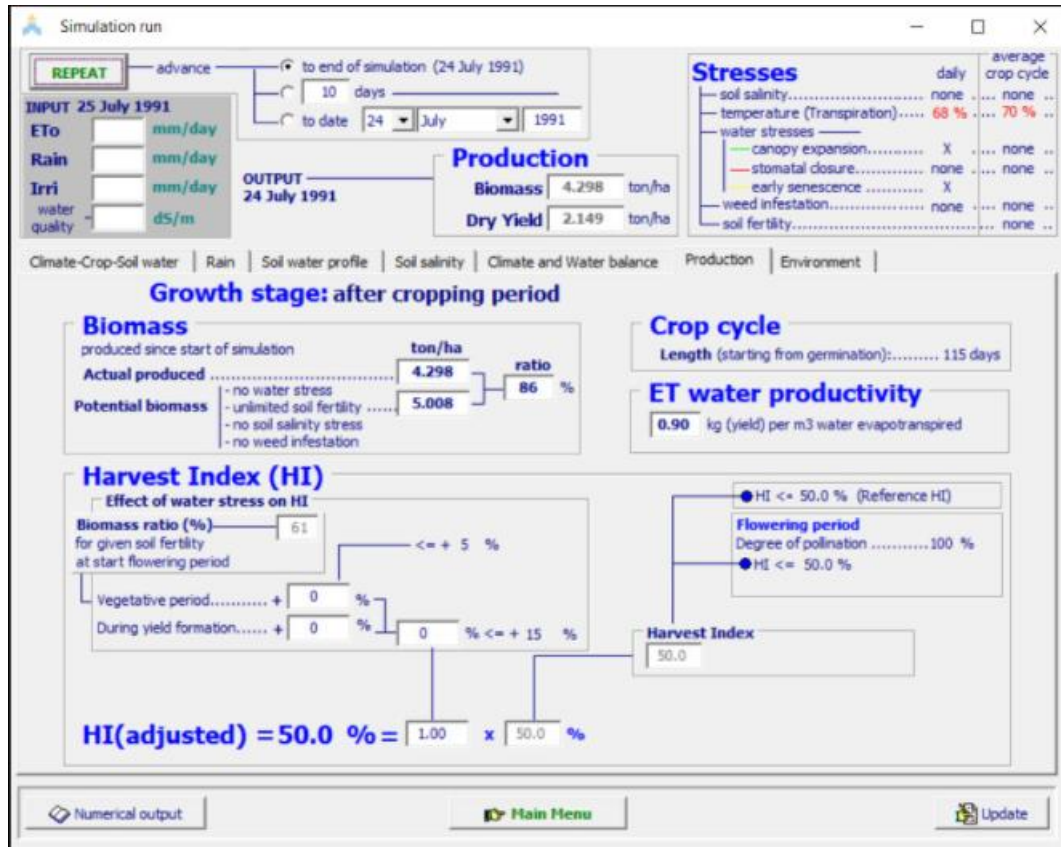


Рис. Ж.3. Параметри продуктивності ярого ячменю у 1991 р.
 (ОГС Хмельницький)