

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

На правах рукопису
УДК 551.502.4: 633.34

Кваліфікаційна робота магістра
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітня програма «МЕТЕОРОЛОГІЯ»

**АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
СОЇ НА ТЕРИТОРІЇ БОГУСЛАВСЬКОГО РАЙОНУ**

Виконала студентка II курсу магістратури
кафедри метеорології та кліматології
Чернобривець Аліна Романівна

Науковий керівник кандидат географічних наук
Круківська Алла Володимирівна

Робота рекомендується до захисту

Протокол № ____ засідання кафедри метеорології та кліматології
від «__» _____ 2021 р.

Завідувач кафедри метеорології та кліматології доктор географічних наук, професор
Сніжко Сергій Іванович

Київ–2021

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 54 с., 8 рис., 6 табл., 36 джерел.

Робота присвячена оцінюванню умов теплозабезпеченості і вологозабезпеченості території Богуславського району у вегетаційний період у другій половині ХХ – на початку ХХІ ст. та визначенню показників потенціалу продуктивності сої. Тема дослідження є актуальною і має важливе наукове і прикладне значення для підвищення ефективності використання агрокліматичних ресурсів у аграрному виробництві.

Метою дослідження є оцінка динаміки складових агрокліматичних ресурсів та їх впливу на формування продуктивності сої на території Богуславського району Київської області.

Основні завдання дослідження полягають в аналізі методичних основ оцінки агрокліматичних ресурсів мезомасштабних територій; дослідженні закономірності багаторічних змін умов тепло- і вологозабезпеченості території Богуславського району у період активної вегетації сільськогосподарських культур; оцінюванні впливу агрокліматичних умов вегетаційного періоду на формування продуктивності сої на території Богуславського району на основі моделі «Погода– урожай»; визначенні агрокліматичного і агроекологічного потенціалу продуктивності сої на основі базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А.М. Польового.

Об'єкт дослідження – агрокліматичні умови вегетаційного періоду та показники продуктивності сої у Богуславському районі Київської області.

Предмет дослідження – закономірності багаторічних змін агрокліматичних умов та їх вплив на формування продуктивності сої у Богуславському районі Київської області.

Методи і матеріали дослідження. Для вирішення завдань дослідження застосовано методи математичної статистики; методи спеціалізованої агрокліматичної обробки даних; фізико-статистичну модель «Погода–урожай» В.П. Дмитренка; базову модель оцінки агрокліматичних ресурсів А.М. Польового. У якості вихідної інформації використано дані стаціонарних метеорологічних спостережень Навчально-наукового природно-гідроекологічного полігону (ННПГП) Київського національного університету імені Тараса Шевченка за період 1950–2017 рр.

За результатами дослідження поглиблено знання про закономірності багаторічної динаміки агрокліматичних умов вегетаційного періоду та їх вплив на формування продуктивності сої у Богуславському районі Київської області.

Ключові слова: агрокліматичні умови, теплозабезпеченість, вологозабезпеченість, коефіцієнт продуктивності, агроекологічні категорії урожайності, соя.

ABSTRACT

Master's thesis: 54 p., 8 fig., 6 tabl., 36 references.

Master's thesis is devoted to the assessment of the conditions of heat supply and moisture supply of the territory of Boguslav district during the vegetation period in the second half of XX century to the beginning of XXI century as well as to the determining of indicators of soybean productivity potential. The research topic is relevant and is important for the improving of the efficiency of agro-climatic resources in agricultural production.

The purpose of the investigation is to assess the dynamics of the components of agro-climatic resources and their impact on the formation of soybean productivity in the Boguslav district of Kyiv region.

The main tasks are to analyze the methodological basis for the assessing of agroclimatic resources of mesoscale areas; to study the regularities of the long-term changes in the conditions of heat and moisture supply of the territory of Boguslav district during the period of active vegetation of agricultural crops; to assess the impact of agroclimatic conditions of the growing season on the formation of soybean productivity in the Boguslav district based on the model "Weather–crop yield"; to assess the agroclimatic and agroecological potentials of soybean productivity based on the Agroclimatic resources estimation model by A.M. Polyovyi.

Object of the research is agro-climatic conditions of the growing season and indicators of soybean productivity in Boguslav district of Kyiv region.

Subject of the research is the regularities of long-term changes in agroclimatic conditions and their impact on the formation of soybean productivity in Boguslav district of Kyiv region.

Research methods and materials: methods of mathematical statistics; methods of specialized agroclimatic data processing; physical and statistical model "Weather-harvest" ВР Дмитренко; basic model of agro-climatic resources assessment A.M. Field. The data of stationary meteorological observations of the Educational and Scientific Natural and Hydroecological Landfill (NNPGP) of the Taras Shevchenko National University of Kyiv for the period 1950-2017 were used as initial information.

Research methods: methods of mathematical statistics; methods of specialized agroclimatic data processing; physical and statistical model "Weather–crop yield" by V. P. Dmytrenko; basic model of agro-climatic resources assessment by A.M. Polyovyi.

Materials. Data of stationary meteorological observations of the Educational and Scientific Natural and Hydroecological Proving Ground of the Taras Shevchenko National University of Kyiv for the period 1950–2017 were used as initial information.

According to the results of the research, the knowledge about the regularities of long-term dynamics of agroclimatic conditions of the vegetation period and their influence on the formation of soybean productivity in Boguslav district is deepened.

Key words: agroclimatic conditions, heat supply, moisture supply, productivity

coefficient, agroecological yield categories, soybean.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ МЕЗОМАСШТАБНИХ ТЕРИТОРІЙ	7
РОЗДІЛ 2 БАГАТОРІЧНІ ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТЕРИТОРІЇ БОГУСЛАВСЬКОГО РАЙОНУ У ПЕРІОД АКТИВНОЇ ВЕГЕТАЦІЇ.....	14
2.1. Загальні фізико-географічні умови Богуславського району Київської області	14
2.2. Багаторічні зміни дат початку і закінчення та тривалості періоду активної вегетації.....	18
2.3. Багаторічна динаміка характеристик термічного режиму у період активної вегетації.....	21
2.4. Багаторічні зміни умов атмосферного зволоження території ..	25
РОЗДІЛ 3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ І АГРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ	27
РОЗДІЛ 4 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ В БОГУСЛАВСЬКОМУ РАЙОНІ.....	32
4.1. Оцінка продуктивності сої на основі фізико-статистичної моделі «Погода-урожай».....	32
4.2. Визначення потенціалу продуктивності сої на основі базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів А.М. Польового.....	37
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасний період до пріоритетних напрямів агрокліматичних досліджень належить вивчення закономірностей динаміки агрокліматичних ресурсів та їх впливу на формування продуктивності сільськогосподарських культур у межах територій різного масштабу. Одним із найважливіших завдань є отримання кількісних показників продуктивності посівів сільськогосподарських культур, які відображають комплексний вплив агрокліматичних, агроекологічних і агровиробничих умов на продукційний процес рослин.

Протягом другої половини ХХ – на початку ХХІ ст. спостерігаються суттєві зміни агрокліматичних ресурсів території України. Оскільки ґрунтово-кліматичні умови і структура сільськогосподарського виробництва країни досить різноманітні, то ці зміни проявляються по-різному, мають різні тенденції, інтенсивність, просторово-часові масштаби прояву та їхні наслідки. У зв'язку з цим, важливе значення мають дослідження, спрямовані на обґрунтування діяльності галузей агропромислового виробництва на рівні адміністративних районів та господарств.

Зернобобові культури відіграють важливу роль у сільськогосподарському виробництві України. Серед зернобобових культур найбільш поширеною є соя. Це унікальна білково-олійна культура, яка за валовим збором знаходиться на четвертому місці в світі після пшениці, кукурудзи і рису. На майбутнє прогнозується збільшення обсягів та виробництва сої як в світі, так і в Україні. Тому на сьогодні важливим завданням є агрокліматичне обґрунтування ефективності вирощування цієї культури з урахуванням змін клімату, особливо для районів і господарств, розташованих у межах «соевого поясу» України.

Метою дослідження є оцінка динаміки складових агрокліматичних ресурсів та їх впливу на формування продуктивності сої на території Богуславського району Київської області.

Завдання дослідження:

- 1) провести аналіз методичних основ оцінки агрокліматичних ресурсів мезомасштабних територій;
- 2) дослідити закономірності багаторічних змін умов тепло- і вологозабезпеченості території Богуславського району у період активної вегетації сільськогосподарських культур;
- 3) надати кількісну оцінку впливу агрокліматичних умов вегетаційного періоду на формування продуктивності сої на території Богуславського району;
- 4) визначити агрокліматичний і агроекологічний потенціал продуктивності сої на основі моделі оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А.М. Польового

Об'єкт дослідження – агрокліматичні умови вегетаційного періоду та показники продуктивності сої у Богуславському районі Київської області.

Предмет дослідження – закономірності багаторічних змін агрокліматичних умов та їх вплив на формування продуктивності сої у Богуславському районі Київської області.

Методи і матеріали дослідження. У роботі застосовано методи теоретичних досліджень (аналізу, синтезу, порівняння, узагальнення інформації) для визначення науково-методичних засад регіональної оцінки агрокліматичних ресурсів мезомасштабних територій; методи математичної статистики і методи спеціалізованої агрокліматичної обробки даних для встановлення закономірностей багаторічної динаміки основних характеристик агрокліматичних ресурсів Богуславського району; фізико-статистична модель «Погода-урожай» В.П. Дмитренка; базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів А.М. Польового. Для розрахунків використано дані стаціонарних метеорологічних спостережень Навчально-наукового природно-гідроекологічний полігону (ННПГП) Київського національного університету імені Тараса Шевченка за період 1950–2017 рр.

РОЗДІЛ 1 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ МЕЗОМАСШТАБНИХ ТЕРИТОРІЙ

У фундаментальних працях видатних агрометеорологів Г.Т. Селянінова, Ф.Ф. Давітая, С.О. Сапожнікової, П.І. Колоскова, Д.І. Шашко, В.П. Попова, А.М. Польового, З.А. Міщенко, Г.В. Ляшенко та інших вчених розвинуто теоретичні основи просторової оцінки агрокліматичних ресурсів і опрацьовано методологію загального та спеціалізованого агрокліматичного районування[10, 13, 15, 17, 22].

Методи агрокліматичного районування у макромасштабах осереднення показників агрокліматичних ресурсів дозволяють визначати зональні властивості агрокліматичного потенціалу території. Ця інформація необхідна для вирішення важливих завдань розвитку сільськогосподарського виробництва (визначення спеціалізації галузей, структури посівних площ, видового і сортового складу культур, обґрунтування систем землеробства тощо). Засоби дрібномасштабного агрокліматичного районування (у макромасштабах осереднення агрокліматичних показників) не повною мірою задовольняють потреби сільськогосподарської науки і практики на регіональному рівні у зв'язку з існуючою у природі ландшафтною неоднорідністю, яка зумовлює значну інтразональну мінливість агрокліматичних умов і ресурсів. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки нових методів агрокліматичної оцінки мезо- і мікроклімату, які б дозволяли деталізувати інформацію про закономірності просторового розподілу агрометеорологічних чинників урожайності сільськогосподарських культур. Важливі аспекти даної проблеми розв'язані в роботах І.А. Гольцберг, В.О. Мойсейчик, О.Р. Константинова, В.М. Лічікакі, Е.Н. Романової, З.А. Міщенко, П.Х. Карінга, В.Є. Софроні та ін. На основі даних експериментальних досліджень у працях цих вчених визначено провідні закономірності формування мікроклімату приземного шару повітря і ґрунту в агроєкосистемах, отримано кількісні показники мінливості основних

кліматичних характеристик та їх комплексів у різних природних зонах, розроблено методи оцінки агрометеорологічних умов у невеликих просторових масштабах [13, 16, 17, 24].

Питанням, пов'язаним із вивченням мезомасштабних властивостей агрокліматичних ресурсів території у літературі приділена недостатня увага. За визначенням С.М. Хромова і Л.І. Мамонтової, мезоклімат – це клімат невеликої території (адміністративної області, району), який формується під впливом особливостей рельєфу місцевості, режиму освітлення, характеру підстильної поверхні (грунту, рослинного покриву, водойм тощо). Всі ці чинники визначають своєрідність радіаційного балансу, режиму температури, вологості повітря і ґрунту, швидкості вітру та інших характеристик метеорологічних умов. Мезоклімат виділяють як проміжну ланку між макрокліматом великих територій (регіон, країна, зона, пояс тощо) і мікрокліматом, що характеризує приземний шар повітря на обмеженій території. Мікроклімат описує метеорологічний режим на площі до 100 км², із висотою рельєфних утворень до 100-200 м. За Е.Н. Романовою, мезоклімат характеризує географічні райони, які мають площу понад 500–1000 км² [24]. За співставленням горизонтальних розмірів мікрокліматичних та мезокліматичних географічних районів, цілком обґрунтовано вважати лінійні масштаби мезокліматичних територіальних одиниць від 10 км до 300–500 км. Згідно з таким положенням, будь-яка адміністративна область і адміністративний район України становить об'єкт мезомасштабної оцінки агрокліматичних ресурсів і агрокліматичного районування.

Для агрокліматичного районування території адміністративної області розроблено ряд методик (В.В. Синельщиков та ін.), які базуються на використанні даних стаціонарних метеорологічних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій і дозволяють надати загальну характеристику умов тепло- і вологозабезпеченості території у період вегетації сільськогосподарських культур за показниками сум температури повітря, кількості опадів, тривалості беззаморозкового періоду, комплексних

агрокліматичних характеристик [9]. На основі прямої екстраполяції зазначених показників здійснюється побудова комплексних картосхем і визначення районів, умовно однорідних за агрокліматичними ресурсами. Такий підхід не висвітлює значну мезо- та мікромасштабну неоднорідність просторового розподілу агрокліматичних показників, зумовлену впливом підстильної поверхні. При використанні даних стандартних спостережень гідрометеорологічних станцій істотно нівелюються місцеві мезокліматичні ознаки, які можуть бути зумовлені значною мінливістю висоти місцевості, ступенем розчленування рельєфу, експозицією схилів та кутами їх нахилу, розташуванням і розмірами лісових масивів і водойм із власним мікрокліматом, неоднорідністю ґрунтового покриву, значною площею розораних полів, зайнятих різноманітними культурами, та інших місцевих чинників. Ці та інші особливості підстильної поверхні узагальнюються у даних спостережень гідрометеостанцій і їх вплив на температуру і вологість повітря, кількість опадів, швидкість вітру та інші метеорологічні величини у межах територій, які вони презентують, не вдається чітко диференціювати. Між тим, вплив мезомасштабних географічних об'єктів на розташування та особливості вирощування сільськогосподарських культур може істотно відрізнятись від фонового метеорологічного режиму, зафіксованого на гідрометеорологічній станції [9].

Методику агрокліматичного районування території адміністративної області з використанням прийомів картографічного аналізу на основі функції ентропії вперше було розроблено А.С. Горб, Н.М. Дук, О.В. Патрухіною і в подальшому такий підхід вдосконалювався. В.П. Дмитренком і А.В. Круківською розроблено методику мезомасштабного агрокліматичного районування адміністративної області, яка базується на принципах визначення функціональних зв'язків між властивостями підстильної поверхні та характеристиками агрокліматичних ресурсів. Для фонові характеристики умов тепло- і вологозабезпеченості території у період вегетації сільськогосподарських культур використано показники суми активних

температур повітря, кількості опадів і гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК). За особливостями просторового розподілу зазначених параметрів на території адміністративної області виділяються умовно однорідні агрокліматичні райони. Для уточнення просторових меж і конфігурації контурів агрокліматичних районів за впливу неоднорідності підстильної поверхні використано картографічний метод аналізу [9].

Розглянуті методи і підходи дозволили певною мірою вирішити проблему просторової диференціації фонових показників агрокліматичних ресурсів, які визначаються за даними стандартних агрометеорологічних і метеорологічних спостережень на мережі гідрометеорологічних станцій. Однак відкритим залишається питання пошуку найбільш об'єктивних характеристик агрокліматичного потенціалу території, які відповідають сучасним вимогам практики агрометеорологічного забезпечення сільськогосподарського виробництва.

В агрокліматології тривалий час при оцінюванні агрокліматичних ресурсів певної території основним завданням було дослідження кліматичних умов як складової середовища життєдіяльності рослин і визначення ступеня відповідності між потребами рослин і наявними ресурсами. При цьому і потреби рослин, і умови відображались в одних і тих же показниках (наприклад, теплотребна – в $^{\circ}\text{C}$ і ресурси тепла – в $^{\circ}\text{C}$; умови зволоження території – в кількості мм опадів і вологотребна рослин теж в мм опадів за певний міжфазний період). Така постановка завдання не відповідає потребам сучасного сільськогосподарського виробництва. Показники агрокліматичних ресурсів повинні опосередковано відображати можливий економічний ефект від вирощування певної культури чи застосування агротехнології в конкретних кліматичних умовах території [10, 16, 17, 28].

Інтегральним економічним показником ефективності землеробства є урожайність сільськогосподарських культур. Однак, як показують численні дослідження, внесок погодних умов конкретного року (чи агрокліматичних ресурсів за багаторічний період) у формування урожайності в середньому

досягає 70-75 %. Решту становлять інші важливі чинники – сортові властивості культури та агротехніка. Отже, для сільськогосподарської оцінки клімату показник урожайності не завжди є об'єктивним.

У зв'язку з цим, в агрокліматології широкого використання набула методологія бонітування клімату. Термін «бонітет» походить від лат. «bonitos» – доброякісність і означає кількісний вираз ступеню сприятливості клімату для сільськогосподарського виробництва у цілому або для вирощування конкретних видів сільськогосподарських культур [17].

Принципи бонітування клімату і оцінки біокліматичного потенціалу (БКП) розвинені в працях видатних російських вчених К.А. Тімірязєва, В.В. Докучаєва, А.І. Воєйкова, С.Г. Струмиліна та ін. Дослідженнями з бонітування клімату займалися П.І. Колосков, С.А. Сапожникова, Д.І. Шашко та інші відомі вчені.

Серед методів бонітування клімату найбільш відомими є методи С.О. Сапожникової і Д.І. Шашко. У методі Сапожникової у якості показника ресурсів тепла використовується сума активних температур повітря (середніх добових температур вище 10°C) і гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянінова (ГТК). Оскільки тривалість вегетаційного періоду, яка визначається інтенсивністю накопичення ресурсів тепла, істотно впливає на урожайність, автор запропонувала розраховувати величину урожаю, що формується однією тепловою одиницею. Під тепловою одиницею розуміють суму активних температур, зменшену в 100 разів [17].

Метод Д.І. Шашко ґрунтується на дещо інших положеннях. Величина бонітету клімату оцінюється ним в балах нормальної фактичної і потенційної урожайності. Під нормальною урожайністю розуміється урожайність за середнього для країни рівня агротехніки. Потенційна урожайність визначається як розрахункова величина урожайності в умовах реального зволоження і оптимального для рослин термічного режиму території [17].

Відомими також є роботи Е.К. Зоїдзе і Л.І. Овчаренко, які запропонували математичну модель оцінки сільськогосподарського

потенціалу клімату. За такими принципами О.В. Гордєєвим, О.Д. Клещенком та ін. оцінено біокліматичного потенціалу територій на основі сучасних якісних та кількісних критеріїв продуктивності агроєкосистем [17].

Для території України комплексне районування біокліматичного потенціалу виконано З.А. Міщенко і Н.В. Кирнасівською [17].

У пошуках способів оцінки ступеню сприятливості агрокліматичних ресурсів для вирощування сільськогосподарських культур багато дослідників встановили, що кращим інтегральним показником є їх продуктивність.

Такий підхід, зокрема, реалізований у базовій фізико-статистичній моделі “Погода–урожай” В.П. Дмитренка [7, 8]. В цій моделі для кількісної оцінки впливу температури повітря і кількості опадів на формування урожаю сільськогосподарської культури використовується коефіцієнт продуктивності – показник, що характеризує відношення урожайності за фактичного значення агрометеорологічного чинника чи їх сукупності до максимальної урожайності за оптимального значення агрометеорологічного чинника (сукупності). Відхилення значень будь-якого із чинників від оптимуму пропорційно зменшує ефект впливу на продукційний процес рослин і знижує урожай. За просторовим розподілом часткових і сумарних коефіцієнтів продуктивності сільськогосподарської культури може бути виконана оцінка агрокліматичного потенціалу територій різного масштабу.

На основі уявлень про продукційний процес рослин, як сукупність взаємопов’язаних процесів у системі ґрунт–рослина–атмосфера у 70-х – 80-х роках минулого століття, була створена кількісна теорія максимальної продуктивності посівів сільськогосподарських культур (О.О. Ничипорович, Х.Г. Тоомінг, Ю.К. Росс) [10, 21]. На сьогодні ця теорія є основою розробки методів агрометеорологічних прогнозів, агрометеорологічного моделювання і оцінки агрокліматичних ресурсів території.

Для вирішення завдання оцінювання агрокліматичних ресурсів територій різного масштабу (від країни у цілому до адміністративних областей і районів) широкого використання набула базова модель оцінки

агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А.П. Польового [21]. На основі цієї моделі розроблено та впроваджено в практику методики спеціалізованого агрокліматичного районування для великого переліку сільськогосподарських культур, які вирощуються на території України.

РОЗДІЛ 2 БАГАТОРІЧНІ ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ТЕРИТОРІЇ БОГУСЛАВСЬКОГО РАЙОНУ У ПЕРІОД АКТИВНОЇ ВЕГЕТАЦІЇ

2.1. Загальні фізико-географічні умови Богуславського району Київської області

Богуславський район – адміністративний район Київської області, розташований у її південно-східній частині на підвищеному плато Правобережного Лісостепу. Площа району становить 77183 тис.га (2,7 % території області) [19].

Богуславський район є агропромисловим; сільськогосподарські підприємства спеціалізуються переважно на вирощуванні зернових і технічних культур, розвинуте тваринництво, серед галузей промисловості основними є легка та переробна [19].

Геологічна будова і рельєф. Особливості геолого-геоморфологічної будови території визначаються її розташуванням у південно-західній частині Східноєвропейської платформи, в межах Українського кристалічного щита, складеного дислокованими докембрійськими кристалічними породами, які лежать на невеликій глибині або досягають денної поверхні [19, 29].

Рельєф території досить неоднорідний. Район знаходиться у межах Придніпровської височини, середня висота якої досягає 273 м. Поверхня височини підвищена, пологохвиляста, дуже розчленована густою сіткою річкових долин, ярів і балок. Міжрічкові простори представлені ділянками слабохвилястої акумулятивної рівнини, що характеризуються найбільшими абсолютними висотами поверхні. Поверхня плато, у зв'язку зі значним розчленуванням, нахилена на схід і північний схід, а також у напрямку місцевих річкових долин і балок. Річкові долини часто звужені, іноді каньйоноподібні з глибиною врізу до 60–80 м [19, 29].

Ґрунти. Основними типами ґрунтів у Богуславському районі є: сірі

лісові опідзолені слабозмиті грубопилувато-легкосуглинкові, чорноземи глибокі малогумусні вилугувані грубопилувато-легкосуглинкові, чорноземи типові вилугувані малогумусні грубопилувато-легкосуглинкові, лучні карбонатні ґрунти, темно-сірі опідзолені середньосуглинкові; чорноземи опідзолені слабозмиті грубопилувато-легкосуглинкові. Найбільші площі займають опідзолені ґрунти – чорноземи опідзолені малогумусні та темно-сірі опідзолені [2, 19, 29].

Внутрішні води представлені річками, озерами, болотами, підземними водами, штучними водоймами (водосховищами, ставками). По території Богуславського району протікають річки басейну Дніпра (Нехворощ, Богуславка, Фоса, Хоробра) і Південного Бугу (Боярка). Річки належать до рівнинних з добре вираженим сніговим і дощовим живленням [19, 29].

Природна рослинність. На території Богуславського району поширені лісові та степові види рослинності. Ліси займають площу 17361 га [19].

Клімат району помірно-континентальний, м'який, досить вологий. Зима малосніжна, нестійка, порівняно тепла, літо тепле і помірно вологе [2, 11].

Сумарна сонячна радіація досягає максимальних значень у червні 596 МДж/м² і є мінімальною у грудні – 58 МДж/м². Тривалість сонячного саява у холодний період року становить близько 350 год, у теплий період вона збільшується до 1602 год [2, 11].

Циркуляція атмосфери як кліматоутворювальний чинник проявляється в частому переміщенні над територією Київської області різних баричних утворень – циклонів і антициклонів, улоговин і гребенів, що зумовлюють адвекцію різноманітних за своїми властивостями повітряних мас та їх трансформацію. На територію Київщини переважно зміщуються циклони із заходу і північного заходу, які мають атлантичне походження. Центри більшості західних циклонів проходять північніше території Київської області. Іноді зміщуються циклони середземноморського походження. Найбільшої інтенсивності циклонічна діяльність досягає у другій половині

осені і взимку. У цей час на всій території області переважає хмарна погода з тривалими облоговими опадами і туманами. Взимку проходження західних циклонів супроводжується відлигами різної інтенсивності та тривалості. Антициклональна діяльність пов'язана із надходженням азіатських антициклонів взимку, які зумовлюють тривалу малохмарну, морозну погоду, а також впливом Азорського максимуму та його відрогів влітку, які визначають тривалу безхмарну, суху і спекотну погоду. Взимку та в перехідні сезони надходять арктичні повітряні маси, які призводять до різкого і здебільшого короткочасного зниження температури повітря і ґрунту, що негативно позначається на перезимівлі озимих культур. Влітку ж арктичне повітря надходить сухим і добре прогрітим і за умов тривалого бездощів'я підсилює посуху [11].

Середня річна температура повітря змінюється у межах $7,7-8,4^{\circ}\text{C}$. Середня температура січня (найхолоднішого місяця) коливається від $-3,0^{\circ}\text{C}$ до $-3,9^{\circ}\text{C}$, середня температура липня (найтеплішого місяця) – від $19,9^{\circ}\text{C}$ до $20,8^{\circ}\text{C}$. Абсолютний мінімум температури повітря дорівнює $-39,8^{\circ}\text{C}$, абсолютний максимум – $37,6^{\circ}\text{C}$ [2, 11].

Річна кількість опадів становить 597 мм, найменша – 413 мм, найбільша – 847 мм. Близько 70% річних опадів випадає в теплий період року [2, 11].

Літній сезон (між датами стійкого переходу середньої добової температури повітря через 15°C) триває 109–116 днів; починається 16–20 травня і закінчується 6–10 вересня. Сума температур повітря за цей період становить 2100°C [2, 11].

Холодний період (між датами переходу середньої добової температури повітря через 0°C восени та навесні) на Богуславщині триває 91–97 днів – з 26–30 листопада по 28 лютого–2 березня [11].

Сніговий покрив формується наприкінці листопада – на початку грудня, а руйнується у другій декаді березня. Середня тривалість залягання

снігового покриву становить 68–89 днів, середня висота снігового покриву – 4–9 см. Максимальна висота снігового покриву в окремі роки може досягати 28–63 см. В останні десятиріччя зросла повторюваність зим без стійкого снігового покриву. Частими є відлиги, кількість днів з якими за період грудень–лютий коливається від 46 до 51 [11].

Середня глибина промерзання ґрунту взимку становить 29–42 см. Середнє значення мінімальної температури ґрунту на глибині 3 см (на глибині залягання вузла кушіння озимих культур) взимку, залежно від типу ґрунту, коливається від $-2,3^{\circ}\text{C}$ до $-3,6^{\circ}\text{C}$. Найнижча температура спостерігалась у 1988 р. і становила $-15,0^{\circ}\text{C}$ [11].

Агрокліматичні ресурси. Згідно зі схемою агрокліматичного районування Київської області [9], територія Богуславського району належить до агрокліматичного району, який характеризується порівняно високим рівнем теплозабезпеченості і нестійкими умовами атмосферного зволоження.

Вегетаційний період (між датами стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5°C навесні і восени) триває 210–218 днів; починається в середньому 28 березня – 2 квітня і закінчується 29 жовтня – 2 листопада. Сума температур повітря вище 5°C за цей період становить 2283°C [2, 11].

Період активної вегетації сільськогосподарських культур (між датами стійкого переходу середньої добової температури повітря через 10°C) триває 165–170 днів. Цей період починається в середньому в другій декаді квітня і закінчується у першій декаді жовтня. Сума активних температур повітря досягає $2750\text{--}2800^{\circ}\text{C}$ (в окремі роки перевищує 3200°C). Кількість опадів у період активної вегетації становить 335–345 мм. Середнє багаторічне значення гідротермічного коефіцієнта (ГТК) – 1,2 [2, 11].

До основних несприятливих агрометеорологічних явищ у період весняно-літньої вегетації відносяться заморозки, посухи, зливи, град, сильні дощі, сильні вітри [2, 11].

На території району середня тривалість беззаморозкового періоду в повітрі змінюється від 160 до 180 днів, на поверхні ґрунту – 144–154 днів [2].

Помірна атмосферна посуха (ГТК дорівнює 0,7–0,9), у період активної вегетації, повторюється на території району майже кожні 9 років з 10 [2].

2.2. Багаторічні зміни дат початку і закінчення та тривалості періоду активної вегетації

За даними багаторічних спостережень гідрометеорологічної станції Богуслав (Навчально-наукового природно-гідроекологічний полігону Київського національного університету імені Тараса Шевченка) за температурою повітря за період 1965–2012 рр. визначено характеристики дат стійкого переходу температури повітря через 10°C (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 10°C навесні та восени (Богуславський ННПГП)

Найраніша дата	Рік	Середня багаторічна дата	σ , дні	Найпізніша дата	Рік
весна					
26 березня	1983	17 квітня	10,4	07 травня	1965
осінь					
17 жовтня	1996	06 жовтня	9,0	24 жовтня	2012

Розрахунок щорічних дат переходу проведено за методом А.В. Федорова. Згідно з яким, дата стійкого переходу температури повітря через 10°C встановлювалась шляхом визначення і порівняння сум додатних і від'ємних відхилень середніх добових температур від заданої межі. Датою стійкого переходу температури повітря через 10°C навесні є перший день періоду, за який сума додатних відхилень перевищувала суму від'ємних відхилень будь-якого з наступних періодів з від'ємними відхиленнями. За

дату стійкого переходу через 10°C восени вважається перший день періоду, за який сума від'ємних відхилень перевищує суму додатних відхилень будь-якого з наступних періодів з такими відхиленнями [6].

Згідно з даними табл. 2.1, період активної вегетації триває в середньому з 17 квітня до 6 жовтня. За досліджуваний багаторічний період найраніше активна вегетація починалась навесні 1983 р. (26 березня) і найраніше закінчувалась восени 1996 р. (17 жовтня). Найпізніше дати переходу через 10°C спостерігались навесні 1965 р. (7 травня) і восени 2012 р. (24 жовтня).

Досліджено особливості багаторічної динаміки дат початку і закінчення періоду активної вегетації (рис. 2.1, рис. 2.2).

Як видно за рис. 2.1, багаторічний хід дат переходу температури повітря через 10°C навесні характеризується значною мінливістю. Зокрема, з 1965 р. до початку 1970-х років спостерігаються більш ранні дати переходу; з початку 1970-х до початку 1980-х рр. дати переходу є більш пізніми, з середини 1980-х – до кінця 1990-х р. спостерігається тенденція до більш раннього переходу середніх добових температур через 10°C , з початку і до середини 2000-х р. – тенденція до зміщення стійких дат переходу на пізніші строки, а з середини 2000-х р. – навпаки, до більш раннього переходу температури повітря через 10°C .

За графіком багаторічної динаміки дат закінчення періоду активної вегетації (рис. 2.2) з початку 1970-х років прослідковується тенденція до переходу середньої добової температури повітря через 10°C восени у більш пізні строки.

Виявлені в багаторічному ході зміщення дат початку періоду активної вегетації навесні на більш ранні строки і дат закінчення періоду активної вегетації восени на більш пізні строки дозволяють зробити висновок про тенденцію до збільшення тривалості періоду активної вегетації з початку 2000-х років. Згідно з даними табл. 2.2, середня тривалість періоду активної вегетації становить 172 дні і змінюється від

149 днів (1965 р.) до 202 днів (2012 р.).

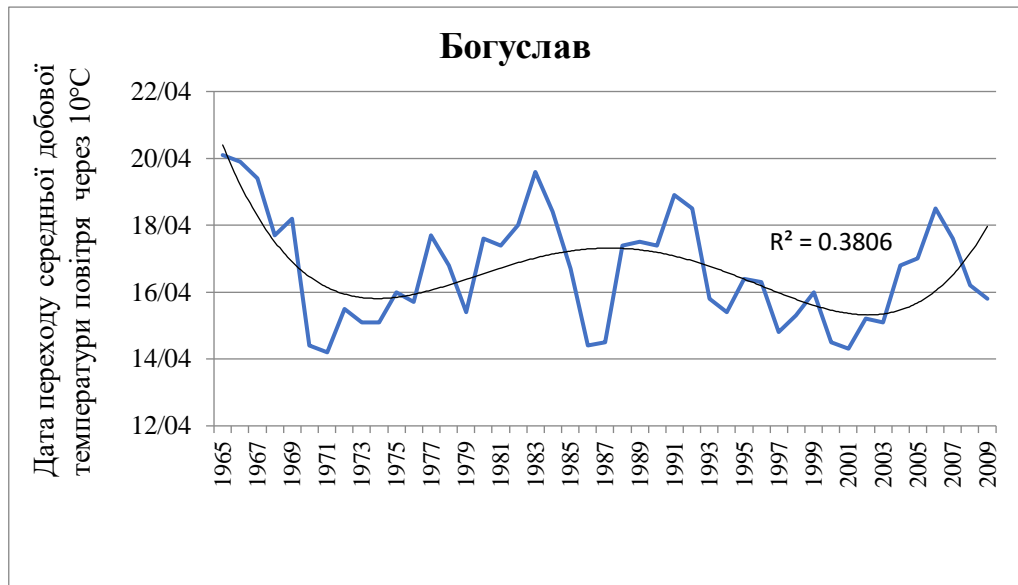


Рис. 2.1. Багаторічна динаміка дат стійкого переходу температури повітря через 10°C навесні (Богуславський навчально-наукового природно-гідроекологічний полігон (ННПГП))

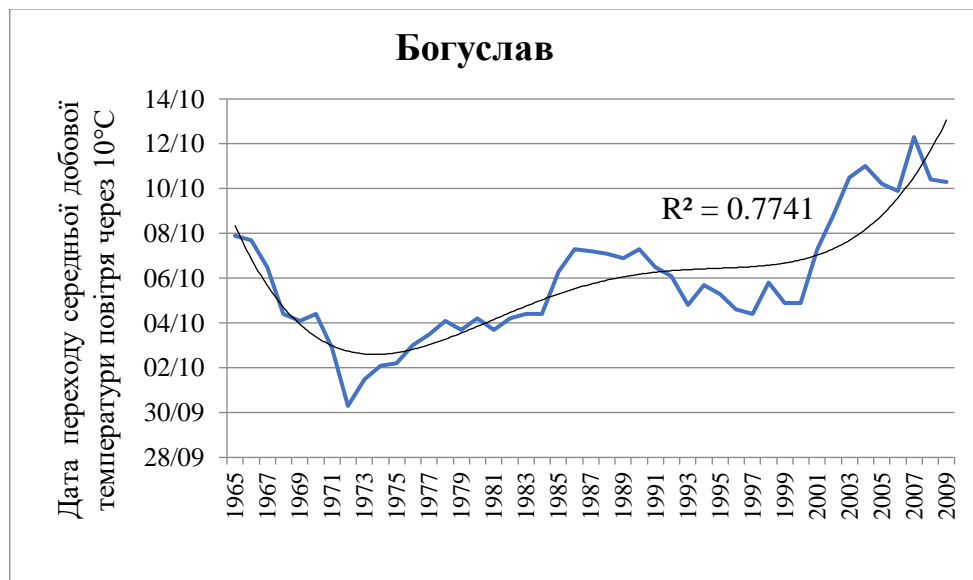


Рис. 2.2. Багаторічна динаміка дат переходу температури повітря через 10°C восени (Богуславський ННПГП)

Таблиця 2.2

Тривалість періоду активної вегетації (Богуславський ННПГП)

Тривалість періоду з температурою повітря 10°C і вище, дні					
найменша	рік	середня	σ	найбільша	рік
149	1965	172	14.1	202	2012

2.3. Багаторічна динаміка характеристик термічного режиму у період активної вегетації

Для дослідження зміни термічного режиму протягом періоду активної вегетації використано ряди даних Богуславського ННПГП по середній місячній температурі повітря (з квітня до жовтня) за період 1947–2017 рр.

Згідно з графіками багаторічної динаміки середньої місячної температури повітря (рис. 2.3) багаторічні зміни температури повітря у всі місяці періоду активної вегетації характеризуються позитивним трендом.

Значення коефіцієнтів лінійних трендів свідчать про те, що середній абсолютний приріст температури повітря по місяцях року дорівнює 0,02–0,05°C. Найсуттєвіше підвищення температури повітря спостерігається у квітні.

Як відомо, суми активних температур повітря є однією з основних агрокліматичних характеристик теплозабезпеченості території.

За результатами оцінки характеру накопичення сум активних температур повітря протягом періоду активної вегетації (рис. 2.4) встановлено, що порівняно зі стандартним кліматологічним періодом (1961–1990 рр.), в останні десятиріччя (1991–2017 рр.) накопичуються більші суми активних температур повітря і градієнт приросту у багаторічному ході збільшується починаючи з другої декади липня.

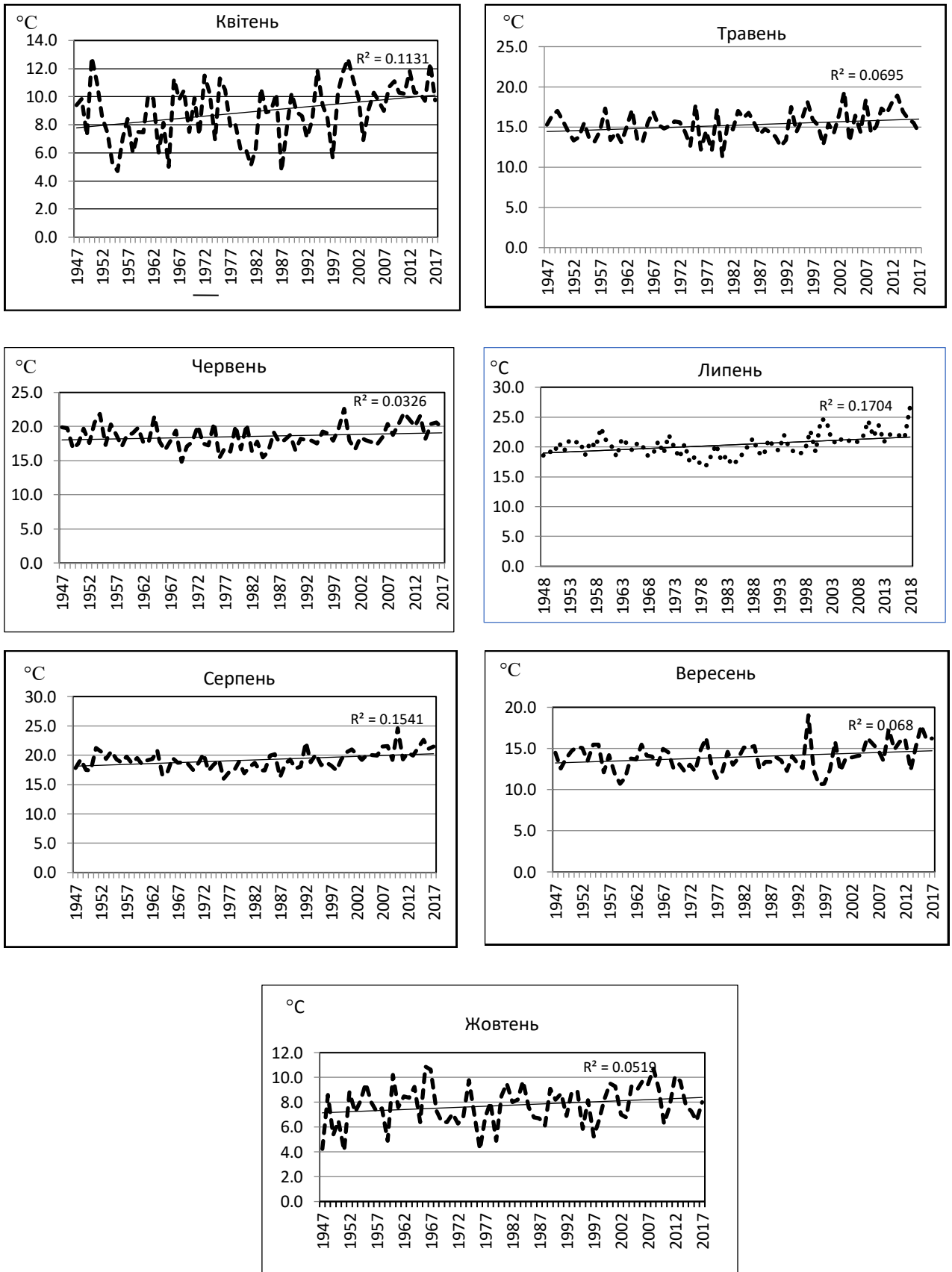


Рис. 2.3. Багаторічна динаміка середньої місячної температури повітря (Богуславський ННПГП)

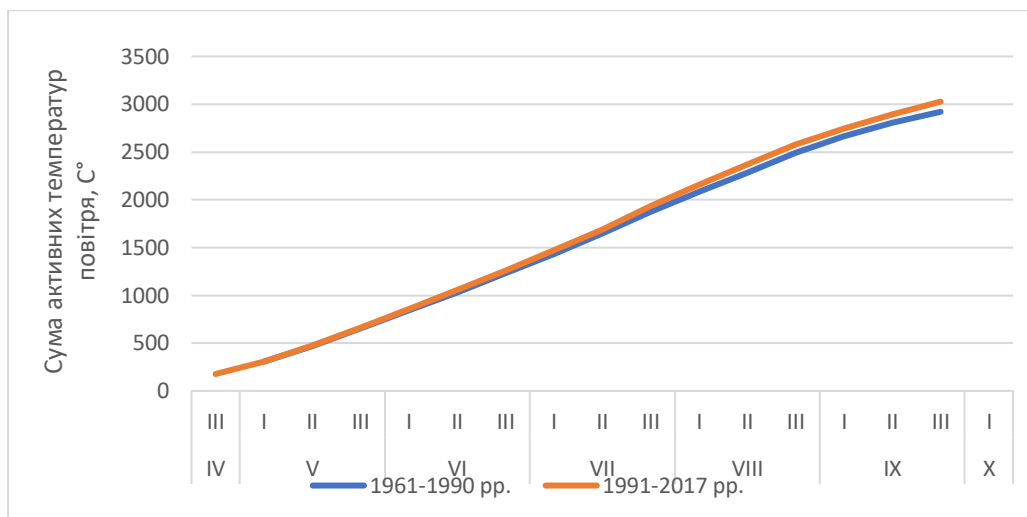


Рис. 2.4. Кумулятивні криві сум активних температур повітря вище 10°C за періоди 1961-1990 рр. і 1991-2017 рр. (Богуславський ННПГП)

Збільшення теплових ресурсів у другій половині періоду активної вегетації, яке спостерігається в останні десятиріччя, є сприятливим для отримання повторних урожаїв сільськогосподарських культур з коротким періодом розвитку (зокрема, кормових культур).

Результатами порівняльної оцінки міждекадного приросту сум активних температур повітря (рис. 2.5) свідчать про збільшення величини приросту протягом 1991-2017 рр. у всі декади періоду активної вегетації (за винятком першої та другої декад травня) у середньому на 10-20°C.

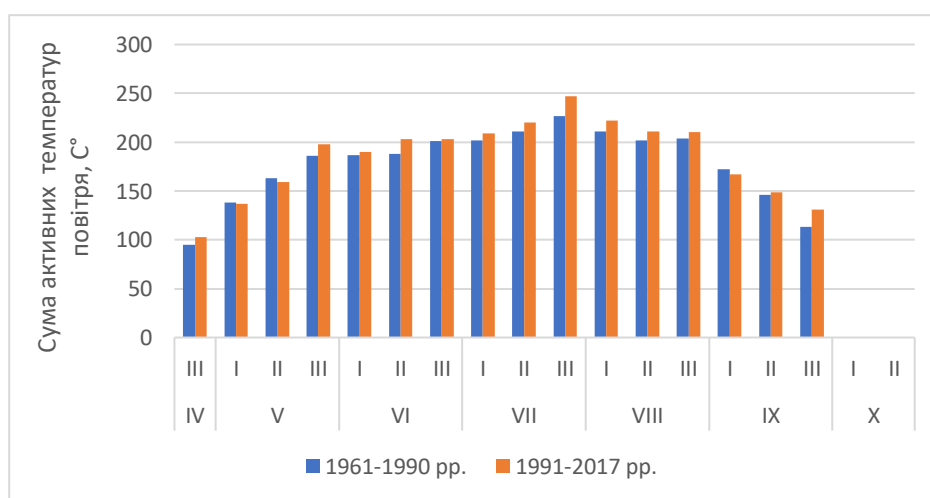


Рис. 2.5. Динаміка міждекадного приросту сум активних температур повітря протягом періоду активної вегетації сільськогосподарських культур (Богуславський ННПГП)

Важливою агрокліматичною характеристикою теплових ресурсів території у вегетаційний період є суми ефективних температур повітря. Ефективна температура повітря визначається як різниця між середньою добовою температурою і заданим термічним рівнем.

Розраховано щорічні суми ефективних температур повітря вище 10°C за період активної вегетації та проаналізовано їх багаторічні зміни. Встановлено, що на території Богуславського району багаторічна динаміка сум ефективних температур повітря вище 10°C за період 1986–2016 рр. характеризується позитивним трендом (рис. 2.6). Середній абсолютний щорічний приріст сум ефективних температур дорівнює 13,7°C.

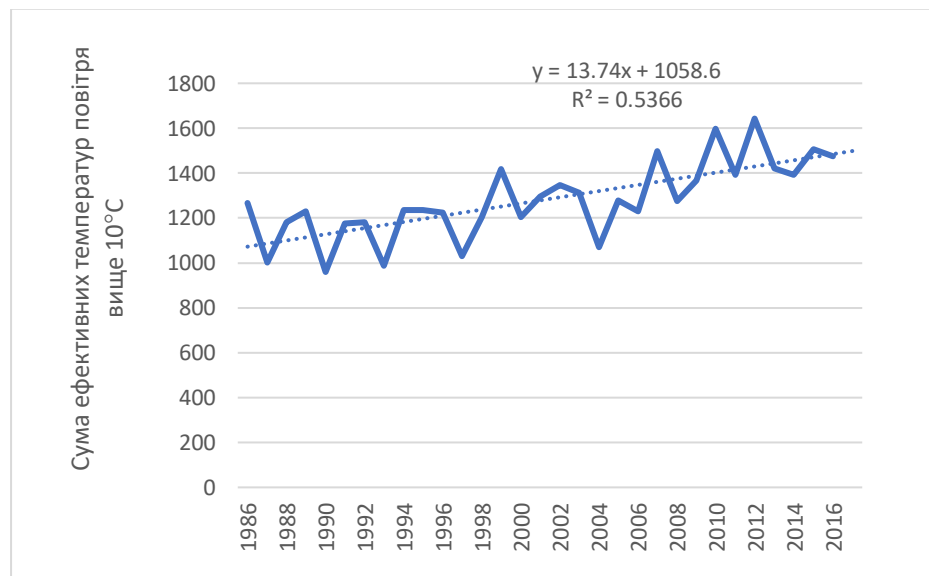


Рис. 2.6. Багаторічна динаміка сум ефективних температур повітря вище 10°C (Богуславський ННПГП)

Таким чином, за результатами проведених досліджень визначено, що у сучасний період збільшуються ресурси теплозабезпеченості території

Богуславського району під час активної вегетації сільськогосподарських культур.

2.4. Багаторічні зміни умов атмосферного зволоження території

Багаторічна динаміка місячної кількості опадів у період активної вегетації на території Богуславського району має неоднорідний характер. Спостерігається тенденція до їх збільшення у весняні та осінні місяці. Динаміка кількості опадів у літні місяці в останні десятиріччя характеризується значними міжрічними коливаннями (рис. 2.7).

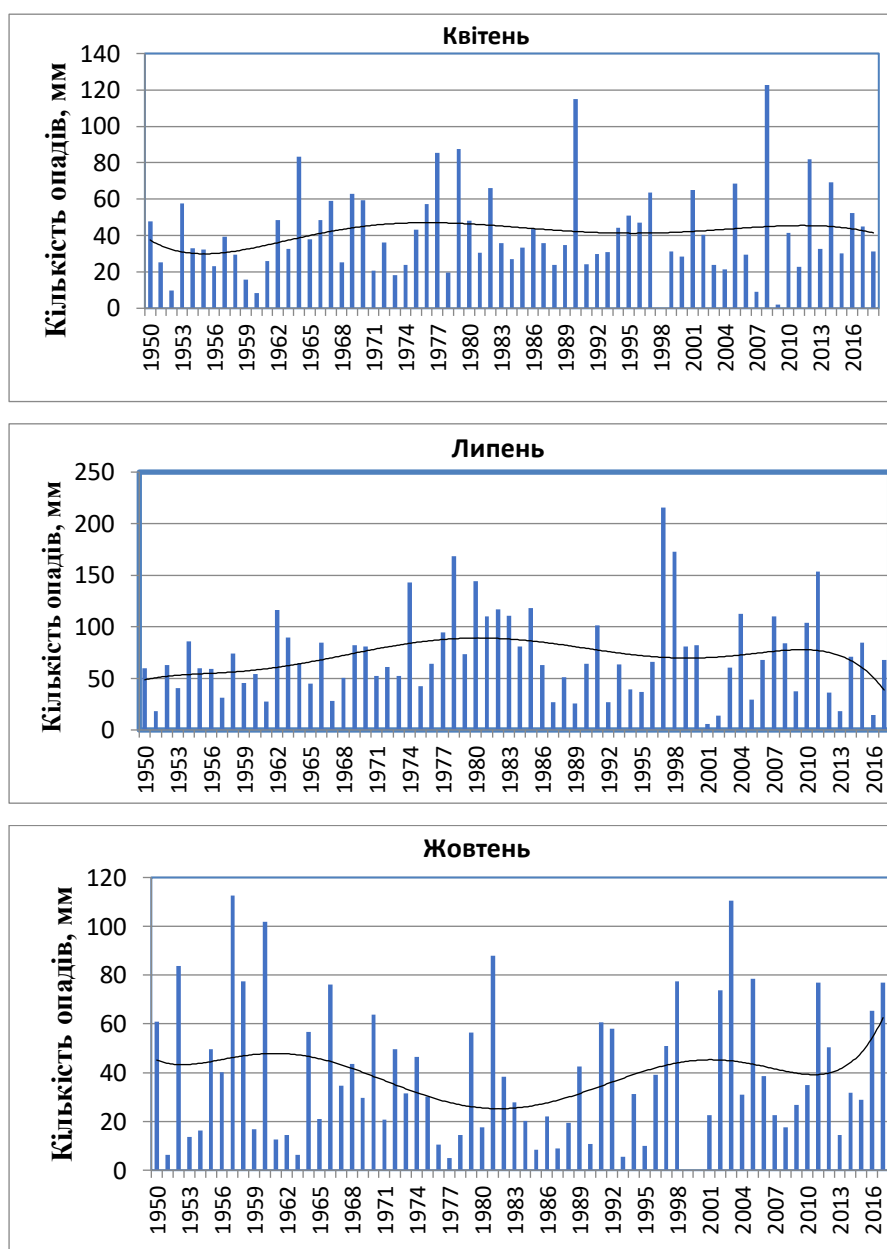


Рис. 2.7. Багаторічна динаміка кількості опадів в окремі місяці в період активної вегетації (Богуславський ННПГП)

Сумарна кількість опадів за період активної вегетації протягом 1950-2017 рр. збільшується з абсолютним щорічним приростом 2,4 мм.

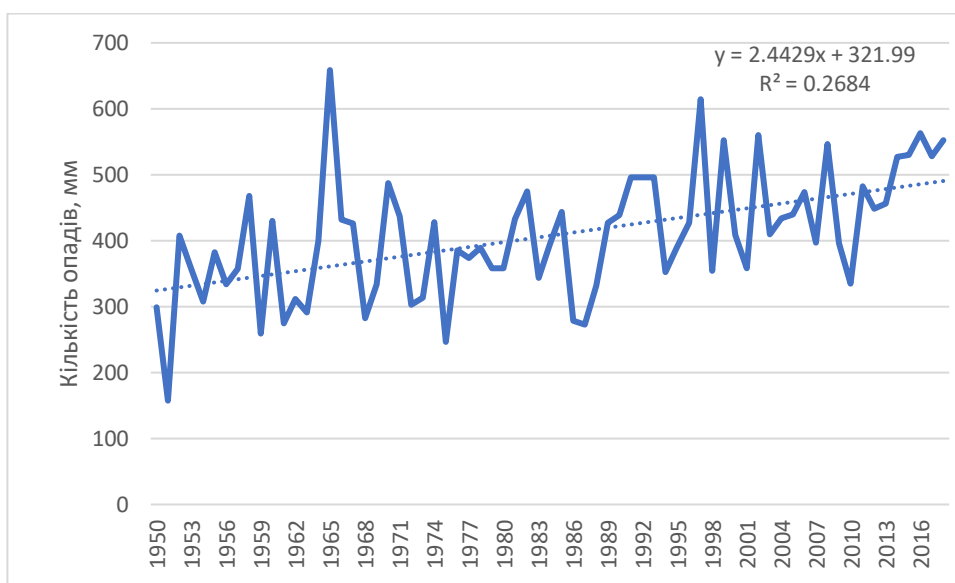


Рис. 2.8. Багаторічна динаміка кількості опадів за період активної вегетації (Богуславський ННПГП)

За результатами оцінки багаторічної динаміки кількості опадів можна зробити висновок, що на початку і наприкінці періоду активної вегетації територія Богуславського району характеризується умовами достатньої вологозабезпеченості, однак у літні місяці на тлі підвищення температури повітря і мінливого режиму випадання атмосферних опадів, ймовірність виникнення умов недостатнього атмосферного зволоження досить висока.

РОЗДІЛ 3. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ І АГРОЕКОЛОГІЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ

Агрокліматичному обґрунтуванню вирощування сої в Україні присвячені роботи А.М. Польового, В.П. Дмитренка, Н.К. Строкач, А.О. Бабица, В.Ф. Баранова, Є.М. Огурцова, А.В. Толмачової та інших вчених. Досліджено вплив погодних умов на терміни сівби, густоту посіву, динаміку біомаси рослин. Визначено також основні характеристики тепло-, світло- і вологопотреби культури в онтогенезі.

На сьогодні важливе наукове і практичне значення має регіональна агрокліматична оцінка ступеню сприятливості агрокліматичних ресурсів, які зазнають змін у зв'язку зі змінами клімату, для формування високих урожаїв сої.

Виробничі й агроекологічні властивості сої. Соя, разом із пшеницею, кукурудзою, ячменем, льоном, бавовником є найдавнішою сільськогосподарською культурою. Вважається, що соя використовується в землеробстві вже понад 6000 років. Ця культура походить з Південно-східної Азії, поширена у Китаї, Індонезії, Японії, США, Австралії, Кореї, європейських країнах, у т.ч. і в Україні.

В Україні соя була вперше висіяна в 1876 р. на Буковині [25]. Спроби пристосувати сою до умов вирощування в Україні належать вченому-агроному І. Овсінському. У с. Деражні на Хмельниччині він вирощував різновиди сої та шляхом простого добору вивів сорти, які потім поширились і за межами України – в східній та західній Європі, зокрема у Франції [25].

Соя – унікальна продовольча, лікарська і кормова рослина. Порівняно з іншими бобовими, соя містить найбільше білка (від 30 до 49 %) і жирів (від 12 до 26 %). Вміст вуглеводів у зерні сої складає 22–35 %. Характерною особливістю є малий вміст крохмалю – не більше 3 %. У зерні також в значній кількості містяться лецитин, фітин. Воно багате мінеральними

речовинами, різними ферментами, вітамінами, фітохімічними та іншими речовинами. Такі властивості визначають широке використання сої у харчовій та лікувальній промисловості [25, 26].

Кількість сортів сої дуже велике. В Україні, в результаті селекції сорти у виробництві постійно змінюються. Ні в однієї із зернобобових культур, як в Україні, так і в Європі, не спостерігається такої швидкої сортозміни як у сої. Це свідчить про її значну екологічну пластичність. Але, не зважаючи на значні успіхи в селекції, урожайність сої в Україні невисока і зазнає значних коливань.

Значні щорічні коливання урожайності сої зумовлені мінливими агрометеорологічними умовами і агротехнікою, недостатньо, або зовсім неузгодженою з ними.

Відносно низькі (порівняно з потенціалом) урожаї сої гальмують розширення посівних площ. Але урожай і в 10 ц/га господарству забезпечує рентабельність. За сприятливих кліматичних і ґрунтових умов та належної агротехніки ця культура спроможна забезпечувати 200–300 % рентабельності [25].

Окрім економічних переваг, соя має важливе агроекологічне значення. Соя є хорошим попередником для будь-яких інших культур, тому що загальними властивостями для всіх сортів сої є переважаюче формування кореневої системи у верхніх шарах ґрунту (від 60 до 80 % загального об'єму), що не виснажує ґрунтової товщі протягом вегетаційного циклу. Соя підвищує родючість ґрунту через діяльність особливих бактерій (так званих бульбочкових), які проникають у тканину коренів бобових, утворюючи на них нарости у вигляді маленьких бульбочок. Бактерії для своєї діяльності поглинають з повітря і зв'язують недоступний для інших рослин азот (N_2), нагромаджуючи його в ґрунті (близько 100 кг/га) [25]. На полях після вирощування бобових, зокрема сої, навесні наступного року нітрофікаційний процес проходить значно інтенсивніше, ніж на полях після інших сільськогосподарських культур, внаслідок цього нагромаджується більше

природних нітратів. Тому соя є добрим попередником для інших культур, які в разі висівання після неї, не лише дають вищий рівень урожаю, але й кращої якості (зокрема, за вмістом білка). Завдяки таким властивостям соя має важливе агротехнічне значення. Після її збирання на кожному гектарі залишається стільки поживних речовин, скільки їх міститься в 15–20 т/га органічних добрив. Як було відзначено попередньо, вона не виснажує ґрунт, а, навпаки підвищує його родючість, збагачуючи органічним азотом, поліпшує екологічні ознаки, є добрим попередником для зернових і технічних культур, урожай яких підвищується на 10–15 %. Введення сої в сівозміну сприяє поліпшенню структури і родючості ґрунту, підвищенню культури землеробства [23, 25, 26].

На сьогодні Україна є лідером в Європі і займає 8 місце за виробництвом цієї зернобобової культури у світі.

Київська область належить до основних регіонів вирощування сої (разом із Полтавською, Хмельницькою, Кіровоградською, Житомирською, Сумською областями). Необхідно відзначити, що в цілому по країні в останні роки середня врожайність сої була нестабільною і коливалася в діапазоні 13–25 ц/га, потенціал же врожайності сої в Україні, згідно з висновками експертів, – на рівні 35–48 ц/га [23, 25].

У Богуславському районі середня врожайність сої в останні роки – 20–24 ц/га, середні посівні площі під культурою – 7273 га [19, 25].

Вимоги культури до агрометеорологічних умов та ґрунтів. Соя – теплолюбна культура. Її насіння починає проростати при температурі ґрунту 8–10°C, оптимальні умови складаються при підвищенні температури у період сівби до 15–16°C. Якщо середня добова температура ґрунту становить 19–22°C, то сходи сої з’являються через 6–7 днів після сівби. Сходи можуть пошкоджуватись заморозками до -3 – -4°C [25, 26]

Тривалість періоду від сходів до цвітіння, залежно від термічних умов вегетації, змінюється від 50 до 75 днів. Достатня теплозабезпеченість сої у

цей період надзвичайно важлива.

Період від появи першого боба на рослині до максимальної їх кількості становить 20–30 днів. Поява квіток і плодів можлива за широкого діапазону середньої добової температури повітря (11–20°C), однак оптимальні значення залежать від багатьох чинників [23, 25, 26].

Соя погано витримує літні похолодання. Низькі температури вночі й різкі коливання під час цвітіння призводять до опадання зав'язі та утворення порожніх бобів. Температура вище 30 °C і нижче 14 °C негативно позначається на рівні та якості врожаю [25, 26].

Досить високі температури і багато світла соя потребує у фази цвітіння, зав'язування бобів і дозрівання. У цілому, роль термічного чинника зростає від проростання насіння до формування бобів і дещо знижується лише під час дозрівання.

Критичний період по відношенню до вологи у сої – це початок цвітіння і формування бобів. Не зважаючи на велику потребу в теплі, соя не є посухостійкою рослиною. Високі температури повітря вона витримує тільки за наявності достатньої кількості вологи у ґрунті [25].

Від появи сходів до фази цвітіння соя не потребує великої кількості вологи і, навіть, не дуже чутлива до коротких періодів посухи. У період утворення насіння (до жовтої стиглості) достатня кількість опадів і висока відносна вологість повітря є сприятливими чинниками для отримання високих урожаїв [25, 27].

В умовах України соя особливо вибаглива до умов вологозабезпеченості в період цвітіння – формування бобів (період максимального водоспоживання). В цей час коренева система у рослин має невеликі розміри, тому культура потребує багато вологи і поживних речовин [25, 27].

Сприятливі умови для формування урожаю виникають, коли за вегетаційний період випадає 350–450 мм опадів, а вологість ґрунту у період від сходів до цвітіння становить не менше 70 % найменшої вологості (НВ), від цвітіння до утворення бобів – не менше 80 % НВ і в період

достигання – від 60 до 70 % НВ [25, 27].

Соя належить до рослин короткого дня і є дуже чутливою до зміни тривалості освітлення. Тому за пізніх термінів сівби і, тим самим, за розвитку в більш тривалому світловому режимі, у неї зтягується вегетативний розвиток і запізнюється дозрівання. Це може змінювати тривалість вегетаційного циклу від 100 до 160 днів. Отже, зтягування зі строками сівби не доцільно, тим більше, що незначні заморозки соя витримує, а пошкоджується, як було відзначено попередньо, тільки за температури нижче -3°C . У зв'язку з цим, в Україні краще вирощувати ранньостиглі і середньостиглі сорти цієї культури [25, 26, 27].

Висівати сою рекомендується при температурі ґрунту на глибині 10 см $7-10^{\circ}\text{C}$. У господарствах лісостепової зон оптимальний строк сівби сої на зерно – перша декада травня, допустимий – до 20 травня [23, 25]. Вважається, що оптимальний строк сівби сої припадає на період цвітіння яблуні. За дуже ранньої сівби в холодний ґрунт сходи затримуються, знижується польова схожість, насіння пошкоджується шкідниками і хворобами (фузаріоз), урожай зерна зменшується. Запізнення зі строками сівби призводить до зниження врожаю, зерно має підвищену вологість, що вимагає додаткових затрат на його висушування [23, 25].

Соя досить вибаглива до властивостей ґрунтового середовища. Для її вирощування придатні лише родючі ґрунти, які добре прогриваються, багаті гумусом, з майже нейтральною або слабо лужною реакцією (рН 6,5–7,0), добре оброблені, окультурені і достатньо збагачені поживними речовинами. Найпридатнішими для вирощування сої є чорноземи, темно-сірі і каштанові ґрунти супіщаного і суглинкового механічного складу. Непридатні для неї солонцюваті, кислі і заболочені ґрунти. У цілому, за відношенням до родючості ґрунту соя потребує кращих умов, ніж інші бобові культури [23, 25].

До агротехнічних умов вирощування соя теж вибаглива і без належної агротехніки високі урожаї отримують не щорічно [23, 26].

РОЗДІЛ 4 АГРОКЛІМАТИЧНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОСТІ СОЇ В БОГУСЛАВСЬКОМУ РАЙОНІ

4.1. Оцінка продуктивності сої на основі фізико-статистичної моделі «Погода-урожай»

Для кількісної оцінки впливу агрокліматичних умов на формування продуктивності сої на території Богуславського району використано фізико-статистичну модель «Погода-урожай», розроблену В.П. Дмитренком [7, 8].

У моделі кількісним критерієм оцінки ступеню сприятливості агрокліматичних (агrometeorологічних) умов для формування урожайності сільськогосподарських культур є коефіцієнт продуктивності [7, 8]. Цей показник відображає відношення фактичного приросту урожаю у реальних кліматичних умовах (або погодних умовах конкретного року) до максимально можливого приросту урожаю в оптимальних кліматичних (погодних) умовах у біологічно ефективному інтервалі змін температури повітря і кількості опадів. Відхилення значень будь-якого із чинників від оптимуму у певний період розвитку культури пропорційно зменшує урожайність (з урахуванням внеску даного міжфазного періоду у формування кінцевої урожайності). Отже, коефіцієнт продуктивності відображає відповідність між потребами культур і наявними ресурсами тепла і вологи в різні періоди вегетаційного циклу культури.

Вплив кожного окремого кліматичного чинника на формування урожаю описується частковими коефіцієнтами продуктивності. Зокрема, коефіцієнт продуктивності сільськогосподарської культури за температурою повітря розраховується за формулою

$$\varphi(T) = \frac{y(T)}{Y(T_0)} = e^{-a\left(\frac{T-T_0}{10}\right)^2} \cdot 100, \quad (4.1)$$

де $\eta(T)$ – коефіцієнт продуктивності за температурою повітря (%); $y(T)$ – приріст урожаю за фактичної середньої температури повітря за певний міжфазний період; $Y(T_o)$ – максимально можливий приріст урожаю за оптимальної температури повітря за міжфазний період [7, 8].

Коефіцієнт продуктивності сільськогосподарської культури за кількістю опадів розраховуються за формулою

$$\eta(R) = \frac{y(R)}{Y(R_o)} = \left(1 + \frac{R-R_o}{R_o-R_{min}}\right)^{a_1} \cdot \left(1 - \frac{R-R_o}{R_{max}-R_o}\right)^{a_2} \cdot 100, \quad (4.2)$$

де $\eta(R)$ – коефіцієнт продуктивності за кількістю опадів (%); $y(R)$ – приріст урожаю за фактичної кількості опадів за певний міжфазний період (R , мм); $Y(R_o)$ – максимально можливий приріст урожаю за оптимальної кількості опадів за міжфазний період (R_o , мм); R_{max} – максимальна кількість опадів (мм) [7, 8].

Додаткові параметри рівняння розраховуються за формулами

$$a_1 = \frac{R_o}{R_{max}}, \quad (4.3)$$

$$a_2 = 1 - a_1 = 1 - \frac{R_o}{R_{max}}, \quad (4.4)$$

Сумісний коефіцієнт продуктивності $\eta(T, R)$, що характеризує поєднаний вплив температури повітря і кількості опадів за певний міжфазний період розвитку культури розраховується за формулою

$$\eta(T, R) = \frac{y(T, R)}{Y(T_o, R_o)} = e^{a \left(\frac{T-T_o}{10}\right)^2} \cdot \left(1 + \frac{R-R_o}{R_o-R_{min}}\right)^{a_1} \cdot \left(1 - \frac{R-R_o}{R_{max}-R_o}\right)^{a_2} \cdot 100 \quad (4.5)$$

де $y(T, R)$ – приріст урожаю за дійсних значень температури повітря (T) і

кількості опадів (R) у міжфазний період розвитку рослин; $Y(T_0, R_0)$ – максимальний приріст урожаю за оптимальних значень температури повітря і кількості опадів за міжфазний період; T_0 – оптимальна температура повітря за міжфазний період ($^{\circ}\text{C}$); R_0 – оптимальна кількість опадів за міжфазний період (мм); $R_{min}=0$ – біологічний мінімум кількості опадів (мм); R_{max} – біологічний максимум кількості опадів (мм), a, a_1, a_2 – параметри рівняння [7, 8].

Оцінка впливу на урожай термічного режиму і режиму атмосферного зволоження в цілому за весь вегетаційний цикл сільськогосподарської культури здійснюється за сумарним коефіцієнтом продуктивності $S(T, R)$, який визначається за формулою

$$S(T, R) = \sum_{i=1}^n \eta_i(T) \eta_i(R) \alpha_i, \quad (4.6)$$

де α_i – ваговий множник для міжфазного періоду.

Ваговий множник α , за числовим значенням в долях одиниці або у відсотках характеризує внесок тривалості міжфазного періоду за оптимальних умов у тривалість всього вегетаційного циклу. За всю вегетацію його значення досягає 1,0. Цей показник, за яким підсумовуються частки кожного міжфазного періоду, визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{y(\tau)}{Y(T)} = \frac{1}{1 + c(1 - \tau)e^{-r_0\tau}}, \quad (4.7)$$

де $y(\tau)$ – частина урожаю, сформована за період τ , $Y(T)$ – максимальний кінцевий урожай, сформований за весь вегетаційний цикл, c – параметр, що відображає вплив агрометеорологічних умов у передпосівний період, τ – тривалість періоду, що розглядається у вегетаційному циклі в долях одиниці, r_0 – початковий коефіцієнт самозрідження посівів [7, 8].

Значення коефіцієнтів продуктивності (часткових, сумісних та сумарного) змінюється від 1 до 100 %. Цей діапазон поділяється на інтервали

з різною якісною оцінкою кліматичних умов та економічними рівнями урожайності: від 86 % до 100 % – сприятливі агрокліматичні умови (урожайність близька до господарського максимуму), від 66 % до 85 % – задовільні умови (урожайність середня між господарським максимумом і економічним мінімумом), від 36% до 65 % – несприятливі агрокліматичні умови (урожайність близька до середньої багаторічної), від 16 % до 35 % – дуже несприятливі агрокліматичні умови (урожайність менша середньої багаторічної), від 10 % до 15 % – надзвичайні умови (рівень урожайності низький, економічно збитковий) [7, 8].

Для Богуславського району за середніми багаторічними даними по температурі повітря і кількості опадів (усереднені за 30-річний період із 1986 по 2016 рр. дані спостережень Богуславського ННПГП) розраховано часткові та сумісні коефіцієнти продуктивності сої за місяці вегетаційного періоду (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Часткові та сумісні коефіцієнти продуктивності (%) сої протягом вегетаційного періоду у Богуславському районі

Коефіцієнт продуктивності	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Частковий за температурою повітря $\eta(T)$	98	99	99	97	97	93
Частковий за кількістю опадів $\eta(R)$	98	70	98	96	92	90
Сумісний за температурою повітря і кількістю опадів $\eta(T,R)$	94	80	97	95	93	92

Для проведення розрахунків використано встановлені для середньостиглих сортів сої показники оптимальної температури повітря та показники інтервалів коливань температури (зони толерантності), оптимальної та максимальної кількості опадів, вагового множника внеску міжфазних періодів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Показники оптимумів температури повітря, кількості опадів та вагового множника протягом вегетаційного циклу середньостиглих сортів сої [25, 26]

IV	V	VI	VII	VIII	IX
Оптимуми температури повітря, °С					
9,6	14,2	18,3	20,8	20,0	15,0
Мінімальна температура повітря, °С					
3	3	8	8	7	5
Максимальна температура повітря, °С					
21	23	25	27	27	22
Оптимуми кількості опадів, мм					
52	68	78	82	70	40
Максимальна кількість опадів, мм					
432	450	470	350	242	216
Значення вагового множника, %					
18	15	19	20	12	3

Результати проведених розрахунків (табл. 4.1) дозволяють зробити висновок, що на території Богуславського району умови тепло- і вологозабезпеченості протягом всього вегетаційного періоду є сприятливими для росту і розвитку сої (коефіцієнти продуктивності культури у всі місяці досягають і перевищують 90%) і забезпечують формування урожайності на рівні господарського максимуму. Лише у травні знижується частковий коефіцієнт продуктивності за кількістю опадів та сумісний коефіцієнт продуктивності (до 70-80 %) – умови характеризуються як задовільні, за яких рівень урожайності культури може знижуватись до середньої між господарським максимумом і економічним мінімумом.

Таким чином, агрокліматичні ресурси досліджуваної території не виступають лімітуючим чинником формування урожайності сої. Для зменшення міжрічних коливань урожайності цієї культури особливо важливим є правильній вибір сортів і дотримання технологій вирощування.

4.2. Визначення потенціалу продуктивності сої на основі базової моделі оцінки агрокліматичних ресурсів А.М. Польового

Методика дослідження. Модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур заснована на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга, динамічній моделі урожайності А.М. Польового та методах оцінки мікроклімату Е.Н. Романової [21].

Принцип максимальної продуктивності полягає в тому, що максимальна урожайність сільськогосподарських культур формується за найбільшої відповідності чинників зовнішнього середовища потребам рослин [10, 22]. Різниця між потенційним і фактичним урожаєм значною мірою зумовлена відхиленням параметрів зовнішнього середовища від їх оптимальних значень протягом вегетаційного циклу культур.

Згідно з теорією максимальної продуктивності [28], запропоновано декілька основних категорій урожайності, які враховують різні групи лімітуючих чинників – кліматичних, ґрунтових, господарсько-економічних. До них належать:

1) *Потенційна урожайність (ПУ)* – урожайність, яка за умов дотримання прийнятої агротехніки, досягається у повністю сприятливих ґрунтово-кліматичних умовах. Потенційна урожайність визначається надходженням ФАР і біологічними особливостями культури (сорту).

2) *Кліматично забезпечена урожайність (КЗУ) або метеорологічно можлива урожайність (ММУ)* – урожайність, яку за належного застосування агротехніки теоретично можна отримати у конкретних кліматичних (метеорологічних) умовах на придатних для вирощування даної культури ґрунтах. Лімітуючими чинниками кліматично забезпеченої (метеорологічно можливої) урожайності є ресурси тепла і вологи;

3) *Дійсно можлива урожайність (ДМУ)* – урожайність, яку за правильного застосування агротехніки можна отримати на конкретному полі

з фактичною родючістю у реальних кліматичних (метеорологічних) умовах. Для сільськогосподарських угідь, на яких повністю дотримано вимог агротехніки дійсно можлива урожайність наближається до кліматично зумовленої (метеорологічно можливої) урожайності;

4) *Виробнича або господарська урожайність* – характеризує фактичну продуктивність посівів у реальних ґрунтово-кліматичних умовах та агротехніки. Досягнення рівня господарської урожайності лімітується культурою землеробства [10, 22, 28].

Модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А.М. Польового дозволяє розрахувати розглянуті категорії урожайності та на їх основі визначити комплексні показники агрокліматичних ресурсів та ефективності їх використання – коефіцієнт сприятливості кліматичних умов території та коефіцієнт реалізації агроекологічного потенціалу.

У моделі у якості вхідної інформації використовуються дані стандартних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень (запаси продуктивної вологи у ґрунті, середня декадна температура повітря, середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, сума опадів за декаду, середній за декаду дефіцит насичення повітря) [21]. А також характеристики ґрунтів та технологій вирощування культур (норми внесення доз азотних, фосфорних і калійних добрив, дані про внесення органічних добрив та їх оптимальну дозу, рік внесення органічних добрив, бал ґрунтового бонітету) [21].

У моделі для розрахунку інтенсивності сумарної сонячної радіації використовується формула С.І. Сівкова

$$Q_0^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (4.8)$$

де Q_0 – сумарна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню, кал/см²·доб.; SS – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, год.; j – номер розрахункової декади; A і B – додаткові характеристики, що визначаються залежно від широти місцевості та схилення Сонця [21].

Випаровуваність E_0 визначається за методом А.М. Алпатьєва

$$E_0^j = 0,65 \cdot DWW^j \cdot dv^j \cdot 0,75, \quad (4.9)$$

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря, гПа; dv – кількість днів у розрахунковій декаді [21].

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченка

$$E^j = \frac{2W^j + O_S^j}{\frac{2W_{HB}}{E_0^j}}, \quad (4.10)$$

де E – сумарне випаровування, мм; W_{HB} – найменша вологоємність у шарі ґрунту 0–100см, мм; O_S – кількість опадів за декаду, мм; W – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, мм [21].

Інфільтрація у нижні шари ґрунту розраховується за формулою:

$$F_{ilt}^j = W^j + O_S^j - E^j - W_{HB}, \quad (4.11)$$

де F_{ilt}^j – інфільтрація в нижні шари ґрунту за декаду, мм [21].

Для розрахунку запасів продуктивної вологи використовується рівняння водного балансу:

$$W^{j+1} = W^j + O_S^j - E^j - F_{ilt}^j \quad (4.12)$$

Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула

$$\alpha_\Phi^j = \exp \cdot \left[-\alpha_\Phi \left(\frac{TS_2 - \sum t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (4.13)$$

де, параметр α_Φ , яка визначається за формулою

$$\alpha_{\Phi} = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_{\Phi}^0}{(\sum t_1)^2}, \quad (4.14)$$

де α_{Φ} – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.; α_{Φ}^0 – початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.; $\sum t_1$ – сума ефективних температур повітря від появи сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °С; TS_2 – сума ефективних температур, °С [21].

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин описується залежностями

$$\psi_{\Phi} = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) < T_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } T_{opt1} \leq (T^j - T_{\Phi}) \leq T_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j) & \text{при } (T^j - T_{\Phi}) > T_{opt2}^j, \end{cases} \quad (4.15)$$

де ψ_{Φ} – температурна крива фотосинтезу, відн. од.; T – середня декадна температура повітря, °С; T_{Φ} – середня декадна температура повітря, за якої починається фотосинтез, °С; T_{opt1} – нижня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °С; T_{opt2}^j – верхня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °С [21].

Функція впливу вологості ґрунту на фотосинтез (γ_{Φ}) визначається як

$$\gamma_{\Phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j & \text{при } W^j < W_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3, & \text{при } W^j > W_{opt2}^j, \end{cases} \quad (4.16)$$

де W – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, мм; W_{opt1}^j – нижня межа оптимальних запасів вологи, мм; W_{opt2}^j – верхня межа

оптимальних запасів вологи, мм [21].

Функція впливу вологозабезпеченості посівів описується виразом

$$FW = \left(\gamma_{\Phi}^j \cdot \frac{E^j}{E_0^j} \right)^{0,5}, \quad (4.17)$$

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од. [21].

Аналогічно визначається узагальнена функція впливу термічного режиму і вологозабезпеченості

$$FTW_I = (\psi_{\Phi} FW)^{0,5} \quad (4.18)$$

Родючість ґрунту характеризується вмістом у ній гумусу, що залежить від ступеню впливу ерозії:

$$G_{um} = k_{er}^G \cdot G_{um} , \quad (4.19)$$

$$F G_{um} = \frac{G_{um}}{G_{um_{opt}}} , \quad (4.20)$$

де G_{um} – вміст гумусу, %; k_{er}^G – функція впливу ерозії ґрунту на вміст гумусу в ґрунті, відн. од.; $G_{um_{opt}}$ – оптимальний для вирощування сільськогосподарської культури вміст гумусу в ґрунті, % [21].

Значення функцій оптимальності азотного, фосфорного і калійного живлення розраховується за методом О.С. Образцова

$$F_N = \frac{N_m}{N_{opt}}, \quad (4.21)$$

$$FW_N^j = \{(F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)]\} \cdot k_{ef}^j, \quad (4.22)$$

де N_m – внесена доза азотних добрив, кг/га; N_{opt} – оптимальна доза азотних добрив, необхідна для одержання максимального урожаю, кг/га; FW_N – функція впливу забезпеченості азотом, відн. од.; k_{ef} – коефіцієнт ефективності добрив в залежності від вологості ґрунту, відн. од. [21].

Аналогічно визначаються функції впливу забезпеченості фосфором FW_P і калієм FW_K .

Вплив режиму зволоження ґрунту на ефективність добрив розраховується за виразом:

$$k_{ef}^j \begin{cases} 1 \text{ при } \frac{W^j}{W_{opt1}^j} \geq 0,85, \\ 0,8 \text{ при } 0,70 < \frac{W^j}{W_{opt1}^j} < 0,85, \\ 0,6 \text{ при } \frac{W^j}{W_{opt1}^j} \leq 0,70, \end{cases} \quad (4.23)$$

Аналогічно визначається відношення дози органічних добрив до їх оптимальної величини і розраховується функція впливу внесення органічних добрив з урахуванням року внесення:

$$F_{Org} = \frac{O_{rg}}{O_{rgopt}}, \quad (4.24)$$

$$FW_{Org}^j = \{(F_{Org})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Org})]\} \cdot k_{Org}^g \cdot k_{ef}^j, \quad (4.25)$$

де FW_{Org} – функція впливу внесення органічних добрив на урожай; O_{rg} – внесена доза органічних добрив, т/га; O_{rgopt} – оптимальна для вирощування сільськогосподарської культури доза внесення органічних добрив, т/га; k_{Org}^g – коефіцієнт впливу року внесення органічних добрив, відн. од. [21].

Узагальнена функція впливу родючості ґрунту і внесення мінеральних та органічних добрив розраховується за принципом Лібіха:

$$FWM_{ef}^j = \min \{FW_{Org}^j, FW_N^j, FW_P^j, FW_K^j\}, \quad (4.26)$$

де FWM_{ef} – функція впливу ефективної родючості на урожай, відн. од.

Приріст потенційної урожайності розраховується за формулою

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_{\Phi}^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{Фар}}^j \cdot dv^j}{q}, \quad (4.27)$$

де $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ – приріст потенційної урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²;
 α_{Φ}^j – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.; η – ККД посівів, відн. од.;
 $Q_{\text{Фар}}$ – середня за декаду добова сума ФАР, кал/см² доб.; q – калорійність, кал/г [21].

Приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси являє собою приріст потенційної урожайності, який буде обмежений впливом вологісно-температурного режиму

$$\frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW_2 \quad (4.28)$$

де $\frac{\Delta ММУ}{\Delta t}$ – приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²; FTW_2 – узагальнена функція впливу вологісно-температурного режиму з корекцією на сполучення різних екстремальних умов, відн. од. [21].

Приріст дійсно-можливої урожайності загальної біомаси, який обмежується рівнем природної родючості ґрунту, визначається за формулою

$$\frac{\Delta \text{ДМУ}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{ММУ}^j}{\Delta t} B_{\text{пл}} F_{\text{Гум}}, \quad (4.29)$$

де $\frac{\Delta \text{ДМУ}}{\Delta t}$ – приріст дійсно-можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²; $B_{\text{пл}}$ – бал ґрунтового бонітету, відн. од. [21].

Урожайність у виробництві (господарська урожайність загальної біомаси), яка обмежується реальним рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив, обчислюється за формулою

$$\frac{\Delta \text{УВ}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta \text{ДМУ}^j}{\Delta t} k_{\text{земл}} FWM_{\text{ef}}^j, \quad (4.30)$$

де $\frac{\Delta \text{УВ}}{\Delta t}$ – приріст урожайності загальної біомаси у виробництві, г/м²; $k_{\text{земл}}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності, відн. од.; FWM_{ef}^j – функція ефективності внесення органічних і мінеральних добрив в залежності від умов вологозабезпеченості декад вегетації, відн. од. [21].

Різні агроекологічні категорії урожаю зерна при його стандартній вологості (14 %) визначаються за виразом

$$ПУ_{\text{зерна}}^i = k_{\text{дозр}}^i ПУ \cdot K_{\text{госп.}}^{\text{ПУ}} \cdot 1,14 \cdot 0,1 \quad (4.31)$$

де $П$ – потенційний урожай зерна, який формується за i -ту дату дозрівання зерна в китиці, ц/га; $K_{\text{госп.}}^{\text{ПУ}}$ – частка зерна в загальній масі потенційного врожаю, відн. од., яка визначається в залежності від розмірів урожаю загальної біомаси [21].

Аналогічно визначаються метеорологічно-можливий $\text{ММУ}_{\text{зерна}}$, дійсно-можливий $\text{ДМУ}_{\text{зерна}}$ і врожай у виробництві $\text{УВ}_{\text{зерна}}$ зерна.

Коефіцієнт сприятливості метеорологічних умов (K_m) розраховується за формулою

$$K_m = MMU_{зерна} / ПУ_{зерна}. \quad (4.32)$$

Коефіцієнт реалізації агроєкологічного потенціалу ($K_{аек.пот}$) визначається за формулою

$$K_{аек.пот} = UB_{зерна} / ПУ_{зерна}. \quad (4.33)$$

Результати дослідження. Базу даних для блоку вхідної інформації моделі підготовлено на основі даних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень за період 1986–2016 рр., а також за довідковими джерелами.

У табл. 4.4 наведено узагальнені характеристики ґрунтових і агрокліматичних умов території Богуславського району.

Таблиця 4.3

Узагальнені характеристики агрокліматичних умов вегетаційного періоду у Богуславському районі

Показники за період вегетації	Богуслав
Бал ґрунтової родючості, відн. од.	0,7
Сума ефективних температур вище 10°C	790
Сума ФАР, кДж/см ² за період	99
Сума ФАР, кДж/см ² на кожен день періоду	11,1
Тривалість вегетаційного циклу, діб	106
Сума опадів, мм	270
Потреба рослин у волозі, мм	434
Сумарне випаровування, мм	290
ГТК, відн. од.	1,2
Вологозабезпеченість, $E_{акт.} / E_{пот.}$, %	85

За літературними джерелами визначено оптимальні значення параметрів та коефіцієнти моделі (табл. 4.4).

У якості біологічних оптимумів температури повітря використано показники, встановлені на основі експериментальних досліджень А.В. Толмачової [27]. Оптимальні дози внесення добрив визначено за аналізом літературних джерел щодо агротехнічних характеристик сучасних сортів сої [1]. Значення коефіцієнту землекористування, що характеризує відношення фактичного рівня використання земель до оптимального (за інтенсивних технологій) у межах досліджуваних територій умовно прийнято рівним 0,65).

Таблиця 4.4

Оптимальні значення параметрів та коефіцієнтів моделі для культури сої

Параметри		Оптимальні значення
Сума ефективних температур за вегетаційний період		2283°C
Сума ефективних температур повітря, накопичена від появи сходів до її значення, при якому спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин		250°C
Нижня межа температурного оптимуму для фотосинтезу		12,1°C
Верхня межа температурного оптимуму для фотосинтезу		19,8°C
Сума ефективних температур для фаз дозрівання зерна	Перша фаза	90°C
	Друга фаза	83°C
	Третя фаза	77°C
Калорійність культури		3 кал/г
ККД посівів		2,6 %
Оптимальні дози внесених добрив	Азотні	50 кг/га
	Фосфорні	60 кг/га
	Калійні	40 кг/га
	Органічні	22 т/га

Коефіцієнт землекористування	0,65 відн.од.
------------------------------	---------------

За результатами розрахунків за моделлю отримано показники продуктивності сої (загальної сухої біомаси), виражені в агроекологічних категоріях урожайності (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Продуктивність сої у Богуславському районі

Показник за період вегетації	Богуслав
Потенційна урожайність (ПУ) усієї сухої біомаси, г/м ²	1159
Метеорологічно можлива урожайність (ММУ) усієї сухої біомаси, г/м ²	1024
Дійсно можлива урожайність (ДМУ) усієї сухої біомаси, г/м ²	622
Урожайність у виробництві (УВ) усієї сухої біомаси, г/м ²	400

Визначено агроекологічні категорії урожайності бобів сої та комплексні показники сприятливості агрокліматичних умов та реалізації агроекологічного потенціалу для вирощування сої на території Богуславського району (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Урожайність сої та комплексні показники сприятливості агрокліматичних умов Богуславського району

Показник	Богуслав
Потенційна урожайність (ПУ) бобів, ц/га	80
Метеорологічно можлива урожайність бобів (ММУ), ц/га	71
Дійсно можлива урожайність бобів (ДМУ), ц/га	48
Урожайність у виробництві (УВ), ц/га	22
Коефіцієнт сприятливості кліматичних умов (ММУ _{бобів} / ПУ _{бобів}). Відн.од.	0,888

Коефіцієнт реалізації агроєкологічного потенціалу ($УВ_{\text{бобіє}}/ПУ_{\text{бобіє}}$), відн.од.	0,275
--	-------

Згідно з отриманими результатами моделювання (табл. 4.5), потенційна урожайність (ПУ) усієї сухої біомаси становить 1159 г/м². Метеорологічно можлива урожайність (ММУ) сухої біомаси дорівнює 1024 г/м². Урожай усієї біомаси на рівні дійсно можливої урожайності (ДМУ) досягає 622 г/м². Максимальна урожайність у виробництві (УВ) усієї сухої біомаси становить 400 г/м².

Потенційна урожайності (ПУ) сої досягає 80 ц/га. Значення метеорологічно можливої урожайності (ММУ) дорівнює 71 ц/га. Дійсно можлива урожайність (ДМУ) становлять 48 ц/га. Максимальні значення урожайності у виробництві (УВ) – 22 ц/га.

Коефіцієнт сприятливості кліматичних умов для вирощування сої на території Богуславського району є досить високим – 0,888 відн.од. Коефіцієнт реалізації агроєкологічного потенціалу дорівнює 0,275 відн.од.

Таким чином, агрокліматичні ресурси території Богуславського району сприяють формуванню високих урожаїв сої.

ВИСНОВКИ

1) У багаторічній динаміці дат початку і закінчення періоду активної вегетації на території Богуславського району з середини 2000-х років спостерігаються тенденції до більш раннього переходу температури повітря через 10°C навесні і більш пізнього переходу температури повітря через 10°C восени. Тривалість періоду активної вегетації збільшується до 172 днів.

2) Багаторічні зміни температури повітря у всі місяці періоду активної вегетації характеризуються позитивним трендом. Середній абсолютний щомісячний приріст температури повітря дорівнює $0,02\text{--}0,05^{\circ}\text{C}$. Найсуттєвіше підвищення середньої місячної температури повітря спостерігається у квітні.

3) В останні десятиріччя (1991–2017 рр.) порівняно зі стандартним кліматологічним періодом (1961–1990 рр.) накопичуються більші суми активних температур повітря. Міждекадний приріст сум активних температур збільшився на $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$.

4) Багаторічна динаміка сум ефективних температур повітря вище 10°C характеризується позитивним трендом. Середній абсолютний щорічний приріст сум ефективних температур дорівнює $13,7^{\circ}\text{C}$.

5) Кількості опадів за період активної вегетації протягом 1950–2017 рр. збільшується з абсолютним щорічним приростом 2,4 мм.

6) Умови тепло- і вологозабезпеченості протягом всього вегетаційного періоду є сприятливими для росту і розвитку сої (коефіцієнти продуктивності культури у всі місяці досягають і перевищують 90%) і забезпечують формування урожайності на рівні господарського максимуму.

7) Потенційна урожайності сої досягає 80 ц/га; метеорологічно можлива урожайність дорівнює 71 ц/га; дійсно можлива урожайність становлять 48 ц/га; урожайність у виробництві – 22 ц/га.

8) Коефіцієнт сприятливості кліматичних умов для вирощування сої на території Богуславського району є досить високим – 0,888 відн.од. Коефіцієнт реалізації агроекологічного потенціалу дорівнює 0,275 відн.од.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агробиологические особенности возделывания сои в Украине / [Адамень Ф. Ф., Вергунов В. А., Лазер П. Н., Вергунова И. Н.]. – К.: Аграр. наука, 2006. – 456 с.
2. Агрокліматичний довідник по Київській області / За редакцією Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенка. – Кам'янець-Подільський: ПП Буйницький О.А., 2010. – 184 с.
3. Бабич А. О. Соя: агроекологічні основи вирощування, переробки і використання: навч. посіб. / А. О. Бабич, М. І. Бахмат, О. М. Бахмат. – Кам'янець-Подільський : «Медобори, 2006», 2013. – 268 с.
4. Бабич А. Соевий пояс і розміщення виробництва сортів сої в Україні / А. Бабич // Пропозиція. – 2010. – № 4. – С. 53–55.
5. Балабух В. О. Оцінювання сучасних змін термічного режиму України / В. О. Балабух, Л. В. Малицька // Геоінформатика. – 2017. – № 4. – С. 34-47.
6. Божко, Л.Ю. Агrometeorологічні розрахунки і прогнози: навч. посібн. / Л.Ю. Божко. – К.: КНТ, 2005. – 216 с.
7. Дмитренко В.П. Погода, клімат і урожай польових культур: монографія. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 618 с.
8. Дмитренко В.П. О полной агrometeorологической модели урожайности. / В.П. Дмитренко //Труды УкрНИГМИ. – 1983. – Вып. 191. – С. 23-33.
9. Дмитренко В.П., Круківська А.В. Основи мезомасштабного агрокліматичного районування території на засадах математико-картографічного методу // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2005. – Вип. 254.– С. 134 – 151.
10. Жуков В.А., Полевой А.Н., Витченко А.Н., Даниелов С.А. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 207 с.

11. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
12. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки в умовах зміни клімату: монографія / За ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. – Одеса: ТЕС, 2018. – 548 с.
13. Ляшенко Г. В. Методика оцінки агрокліматичних ресурсів та їх картографування з урахуванням мікроклімату / Г. В. Ляшенко. – Одеса, ННЦ «ІВіВ ім. В. Є. Таїрова», 2009. – 62 с.
14. Ляшенко Г.В. Агрокліматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Украине. – Одесса: ННЦ «ИВиВ им. В. Е. Таирова», 2010. – 249 с.
15. Ляшенко Г.В. Сучасні проблеми оцінки агрокліматичних ресурсів та районування: навчальний посібник. – Одеса: ТЕС, 2016. – 120 с.
16. Міщенко З. А. Мікрокліматологія: Навчальний посібник / З. А. Міщенко, Г. В. Ляшенко. – К: КНТ, 2007. – 336 с.
17. Міщенко З.А. Агрокліматологія: Учебник / З.А. Міщенко. – Одесса: КНТ, 2006. – 512 с.
18. Огурцов Є. М. Соя у Східному Лісостепу України: монографія / За ред. М. А. Бобро. – Харків: РВВ Харківського нац. аграрн. ун-ту ім. В. В. Докучаєва. – 2006. – 270 с.
19. Паспорт Богуславського району. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://boguslav-rda.gov.ua/>
20. Петриченко В. Ф. Вплив агрокліматичних факторів на продуктивність сої / В. Ф. Петриченко, А. О. Бабич, С. В. Іванюк, С. І. Колісник // Вісник аграрної науки. – 2006. – № 2. – с. 19-23.
21. Польовий А. М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем : підручник. – Одеса: Екологія, 2013. – 432 с.
22. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. – Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 629 с.

23. Рекомендації щодо вирощування сої в господарствах Київської області / А. М. Осипчук, Н. Г. Черняк, О. П. Гончарук. – Чубинське, 2018. – 32 с.
24. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата./ Е. Н. Романова – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 279 с.
25. Соя. Біологічні особливості сої. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agroua.net/plant/catalog/cg-3/c-74/info/cag-224/>
26. Соя (*Glycine max* (L.)Merr.) / В. В. Кириченко, С. С. Рябуха, Л. Н. Кобизєва, О. О. Посилаєва, П. В. Чернишенко. – Харків: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. – 2016. – 400 с
27. Толмачова А. В. Вплив факторів зовнішнього середовища на динаміку біомаси рослин сої при різних строках сівби в центральній частині Північно-Західного Причорномор'я / А. В. Толмачова // Фізична географія та геоморфологія. – 2015. – Вип. 1 (77). – С.158 – 166.
28. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. / Х.Г. Тооминг – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.
29. Фізична географія України: підручник/ О. М. Маринич, П. Г. Шищенко. – Київ: Знання. – 2005. – 518 с.
30. Ainsworth, E. A., Yendrek, C. R., Skoneczka, J. A., & Long, S. P. Accelerating yield potential in soybean: Potential targets for biotechnological improvement. *Plant, Cell & Environment*. 2012, 35, 38–52. doi:10.1111/j.1365-3040.2011.02378.
31. Fu Wei, M. C., Molin, J. P. Soybean yield estimation and its components: a linear regression approach. *Agriculture*. 2020, 10, 348; doi: 10.3390/agriculture10080348
32. Kessler, A., Archontoulis, S. V., & Licht, M. A. Soybean yield and crop stage response to planting date and cultivar maturity in Iowa, USA. *Agronomy Journal*, 2020, 112, 382– 394.
33. Lindsey, L. Agronomic Crops Network: Estimating Soybean Yield. 2020. Available online: <https://agcrops.osu.edu/newsletter/corn-newsletter/2015-26/estimating-soybean-yield>

34. MacMillan, K.P.; Guiden, R.H. Effect of seeding date, environment and cultivar on soybean seed yield, yield components, and seed quality in the Northern Great Plains. *Agronomy Journal*. 2020, 112, 1666–1678.
35. Mordor Intelligence. (2017). Soybean market – Growth, trends, and forecast (2020–2025). Available online: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/soybean-market>
36. Nelson GC, et al. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks / *Proc. Natl Acad. Sci. USA*. 2014; 111:3274–3279. doi: 10.1073/pnas.1222465110.