

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської і
аспірантської підготовки
Кафедра агрометеорології та
агрометеорологічних прогнозів

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**Вплив агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського
жука і формування врожайності картоплі в Сумській області**

Виконала студентка 2 курсу групи ММА-62
спеціальності 8.04010505
“Агрометеорологія”

Орловська Тетяна Євгеніївна

Керівник к.геогр.н., доцент
Свидерська Світлана Михайлівна

Рецензент к.геогр.н., доцент
Бояринцев Євген Львович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської і аспірантської підготовки
Кафедра агromетeорології та агromетeорологічних прогнозів
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 8.04010505 "Агromетeорологія"
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Польовий А.М.
"31" жовтня 2016 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Орловський Тетяні Євгеніївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив агromетeорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області.

Керівник роботи Свидерська Світлана Михайлівна, к.геогр.н. доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" вересня 2016 року № 270-С

2. Строк подання студентом роботи 01.02.2017 року

3. Вихідні дані до роботи Вплив середньобогаторічних, вологих та сухих агromетeорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука та формування врожайності картоплі в Сумській області.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Описати динамічну модель продукційного процесу картоплі, провести чисельні експерименти з розробленою моделлю впливу агromетeорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука та на формування врожаю картоплі в Сумській області. Провести аналіз, як здійснюється вплив сухих, вологих та середньобогаторічних умов на популяцію колорадського жука та як відбувається формування врожайності картоплі в Сумській області.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Графіки впливу сухих та вологих умов на формування окремих органів рослини та на формування врожайності картоплі в цілому. Графіки впливу середньобогаторічних умов на формування врожайності картоплі та на формування окремих органів рослини в Сумській області. Графіки залежності виходу з ґрунту колорадського жука від температури.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 31 жовтня 2016 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання, збір даних для виконання магістерської кваліфікаційної роботи.	31.10.2016-20.11.2016 р.	89	Добре
2	Ознайомлення з об'єктом дослідження, методиками проведення розрахунків, написання вступу, глави 1 і 2.	21.11.2016 р.-4.12.2016 р.	81	Добре
3	Атестація.	5.12.-10.12.2016рр	85	Добре
4	Вивчення динаміко-математичної моделі продукційного процесу картоплі. Вивчення впливу середньобогаторічних, сухих та вологих умов на розвиток популяції колорадського жука та формування врожайності картоплі в Сумській області, написання 3 і 4 глав магістерської кваліфікаційної роботи.	11.12.2016 р.--21.12.2016 р.	95	Відм.
5	Проведення чисельних розрахунків за моделлю. Аналіз розрахунків, підготовка 5 глави магістерської кваліфікаційної роботи.	22.12.2016 р.--31.12.2016 р.	95	Відм.
6	Виправлення зауважень, підготовка рукопису магістерської кваліфікаційної роботи, написання доповіді та підготовка презентації.	16.01.2017-31.01.2017рр	95	Відм.
7	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		91	Відм.

Студентка

(підпис)

Орловська Т.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Свидерська С.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студентки Орловської Т.Є. на тему: «Вплив агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області», присвячена дослідженню впливу агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області.

Культура картоплі є для України однією з провідних сільськогосподарських культур. Численними дослідженнями встановлено, що картопля культурних сортів є рослиною помірного клімату, має велику пластичність, найстійкіші його врожаї отримують у районах середніх широт, що мають відносно невисоку температуру в період вегетації.

Актуальність цієї теми визначається практичною необхідністю оцінки математичної моделі, яка описує вплив агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і на формування врожайності картоплі.

Метою даної роботи, є моделювання впливу агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з п'яти частин. В першій було розглянуто агрокліматична характеристика Сумської області, в другій частині біологічні особливості картоплі, в третій частині – сучасний стан моделювання і прогнозування врожаю картоплі, в четвертій частині – моделювання розвитку колорадського жука, а в п'ятій частині – вплив агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області.

В роботі міститься 17 рисунків та 5 таблиць. При виконанні роботи використано 24 літературних джерел.

Ключові слова: картопля, колорадський жук, популяція колорадського жука, урожайність, бульби, температура, площа листя, біомаса.

SUMMARY

Master's qualification work student Orlovskaya T.E. on "Impact of agrometeorological conditions on Colorado beetle population growth and the formation of potato yields in Sumy region", devoted to research the impact of agrometeorological conditions on the Colorado beetle population growth and the formation of potato yields in Sumy region.

Culture potatoes for Ukraine is one of the leading crops. Numerous studies have found that potato cultivars are plants of temperate climate, has great flexibility, its most stable yields obtained in mid-latitude regions with relatively low temperature during the growing season.

The relevance of this topic is determined by the need to assess the practical mathematical model that describes the impact of agrometeorological conditions on Colorado beetle population growth and the formation of potato yield.

The aim of this work is the modeling of agrometeorological conditions on the Colorado beetle population growth and the formation of potato yields in Sumy region.

Master's qualification consists of five parts. The first was considered agro-climatic characteristics Sumy region, the second part of the biological characteristics of the potato, the third part - the current state of modeling and forecasting crop of potatoes in the fourth part - modeling of the Colorado potato beetle, and the fifth - the impact of agrometeorological conditions on the development of population Colorado potato beetle and the formation of potato yields in Sumy region.

The paper contains 17 figures and 5 tables. In the performance of applied 24 references.

Key words: potatoes, potato beetle, Colorado potato beetle population, productivity, tubers potatoes, temperature, leaf area, biomass.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Фізико-географічний опис Сумської області.....	9
1.2 Агрокліматичні особливості Сумської області.....	12
2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	19
2.1 Ботанічна характеристика картоплі.....	20
2.2 Відношення картоплі до температури.....	21
2.3 Відношення картоплі до світла і вологи.....	23
2.4 Вимоги картоплі до ґрунту.....	26
3. СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ.....	29
3.1 Моделювання процесів формування врожаю картоплі.....	30
3.2 Продукційний процес рослин (ППР).....	42
3.3 Моделювання основних складових продукційного процесу рослин.....	44
4. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА.....	52
4.1 Моделювання розвитку популяції колорадського жука та його вплив на продуктивність рослин.....	57
4.2 Параметри блоку розвитку шкідника.....	61
5. ВПЛИВ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА РОЗВИТОК ПОПУЛЯЦІЇ КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА І ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КАРТОПЛІ В СУМСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	64
5.1 Формування врожайності картоплі і розвиток популяції колорадського жука при середньобогаторічних умовах.....	65
5.2 Формування врожайності картоплі і розвиток популяції колорадського жука при посушливих умовах в Сумській області.....	71

5.3 Формування врожайності картоплі і розвиток популяції колорадського жука при вологих умовах в Сумській області.....	77
5.4 Порівняльна характеристика врожайності картоплі та розвитку популяції колорадського жука при різних агрометеорологічних умовах в Сумській області.....	83
ВИСНОВКИ.....	90
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	91

ВСТУП

Підвищення врожайності і скорочення втрат продукції рослинництва - ключове завдання сільськогосподарського виробництва нашої країни. Одним з ефективних шляхів вирішення цього завдання є здійснення системи заходів щодо захисту рослин від шкідників, хвороб і бур'янів на основі розробки нових і вдосконалення існуючих методів захисту.

Картопля (лат. *Solanum tuberosum*) - вид рослин родини пасльонових, поширена сільськогосподарська культура, яку в народі називають «другим хлібом», одна з найважливіших продовольчих, технічних і кормових культур.

Розмножують картоплю зазвичай вегетативно - бульбами, але можна розмножувати і частинами бульби, паростками, живцями, а також насінням. Посів насіння застосовують, головним чином, в селекційній роботі, при виведенні нових сортів картоплі.

Рослина походить з Південної Америки; там і нині вона росте у дикому стані. За оцінками, вік старих відомих слідів дикої картоплі - до 13000 років. Стародавні індіанці почали культивувати картоплю близько 14 тисяч років тому. Картопля вперше була одомашненена в регіоні сучасного південного Перу і крайнього північно-західного регіону Болівії між 8000 і 5000 до нашої ери. В другій половині XVI століття її завезли до Італії іспанці.

Картопля - культура досить низьких температур, чим більше температура середовища існування картоплі відрізняється від температури батьківщини картоплі, тим більше знижується його врожайність. Тому проблема отримання високих і стійких врожаїв полягає в основному в забезпеченні таких найбільш сприятливих умов для розвитку культури. Значні коливання врожайності картоплі визначаються як впливом погодних умов на фотосинтетичну продуктивність рослин, так і впливом цих же умов на ступінь розвитку популяції шкідників і різних інфекцій, що визначають їх шкодочинність.

Найбільш поширеним шкідником картоплі є популяція колорадського жука, ступінь розвитку якої залежить від агрометеорологічних умов.

Недобори врожаю за рахунок впливу шкідників і хвороб можуть складати до 20-30 % і більше.

Актуальність цієї теми визначається практичною необхідністю розробки математичної моделі, яка описує вплив агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і на формування врожайності картоплі.

У даній магістерській роботі розглядаються як теоретичні, так і практичні аспекти моделювання формування врожайності картоплі та розвитку популяції колорадського жука при посушливих, вологих і середньо багаторічних умовах в Сумській області.

Виходячи з цього, основною метою даної роботи, є моделювання впливу агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області.

1. АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Фізико-географічний опис Сумської області

Сумська область розташована на північному сході України. На півночі та сході область межує з Брянською, Курською та Белгородською областями; протяжність державного кордону з Російською Федерацією, що проходить по території області, складає 498 км. На кордоні розташовано три пункти пропуску залізничним транспортом (Волфіно, Пушкарне, Зерново) та п'ять – автомобільним (Бачевськ, Катеринівка, Рижівка, Юнаківка, Велика Писарівка). На півдні, на південному сході та на заході Сумщина межує з Харківською, Полтавською та Чернігівською областями України. Відстань від обласного центру до столиці України – м. Києва дорівнює 350 км. В південній частині територія області простяглася зі сходу на захід приблизно на 170 км, а в західній частині відстань з півночі на південь складає близько 200 км (по прямій лінії). Загальна площа складає 23, 8 тис. км².

Розташована у межах двох природних зон – Лісостепової та Поліської. Гідрографічна мережа області, яка вся належить до басейну ріки Дніпро, порівняно густа: на 5 кв. км площі припадає 1 км річок. Територією області протікають 165 річок довжиною більше 10 км і 2115 річок довжиною менше 10 км.

Загальна площа лісів лісового фонду області складає 448,5 тис. га, в тому числі покрито лісом 387 тис. га. Тваринний світ області представлений 370 видами тварин, що належать до класу ссавців. Область має значні мисливські угіддя, що сприяє розвитку мисливського та рибальського туризму. Природно-заповідний фонд області налічує 182 заповідні території та об'єкти, на загальній площі понад 156,2 тис. га, у тому числі заповідник, національно-природний парк, заказники, пам'ятники природи, дендрологічний парк, парки-пам'ятники, заповідні урочища, які займають 6,5 % території області [1].

Сьогодні Сумська область входить у десятку найбільш екологічно благополучних регіонів України.

На території області розташовано 294 родовища по 21 виду корисних копалин. Серед них найбільш важливе значення має паливно-енергетична сировина – нафта, природний газ, конденсат, торф, частка яких перевищує половину усіх ресурсів мінерально-сировинної бази. Область досить багата також на неметалеві корисні копалини: фосфорити, кам'яну та калійну солі, сірку, кварцити, крейду, гіпс, вапняки, мергель, скляні піски, вогнетривкі та тугоплавкі глини, мінеральні фарби (в основному вохра), будівельні піски і камінь [1].

В області налічується 15 міст (з них 7 – обласного підпорядкування: Суми, Конотоп, Шостка, Охтирка, Глухів, Ромни, Лебедин), 20 селищ міського типу, 1,5 тис. сільських населених пунктів. Більша частина населення – 65 % – проживає в містах, причому частка міських жителів постійно зростає. Сумщина – багатонаціональний регіон. Тут, у злагоді і добросусідстві, мешкають представники більш ніж 50 національностей. Найчисельніші – українці – 86 % та росіяни – 13 %. Питома вага чоловіків у загальній чисельності населення складає 46 %, жінок – 54 %.

Чисельність трудових ресурсів складає 820 тис. чоловік, це майже дві третини від загальної чисельності населення області. Ресурсний потенціал разом з історичними традиціями, духовністю, культурою Сумщини здатний забезпечити ведення успішної високоефективної господарської та інвестиційної діяльності.

Через область проходить міждержавна автомагістраль Київ – Москва, залізничні магістралі: Київ – Москва, Київ – Харків, Дніпропетровськ – Санкт-Петербург. Великі залізничні вузли: Конотоп, Ворожба, Смородино.

Через територію Сумщини проходять магістральні газопроводи: Уренгой – Помари – Ужгород, Єлець – Курськ – Суми – Диканька, Курськ – Суми – Київ, Суми – Конотоп, Бельськ-Суми, Київ-Брянськ та нафтопроводи:

магістральний Мічурінськ – Кременчук, республіканського значення – Мала Павлівка – Охтирка.



Рисунок 1.1 – Карта Сумської області

Сумщина має досить розвинений виробничий потенціал і за рівнем техногенного навантаження території займає місце в першій десятці областей України [1].

Промисловість є провідною галуззю економіки області. Тут щорічно створюється майже половина валової доданої вартості, зайнято понад 30% працюючих у галузях економіки області. В області виробляється понад 40% нафти (від загального обсягу в Україні), включаючи газовий конденсат, та 7

% газу, близько 30 % сірчаної кислоти, 6 % насосів відцентрових, 12 % взуття, 5,5 % посуду фарфорового.

У структурі промисловості 29 % займає добувна промисловість, близько 65 % – продукція обробної промисловості, в ній 27,1 % – машинобудування, 22,6 % – харчова промисловість та переробка сільськогосподарських продуктів, 9,6 % – хімічна та нафтохімічна промисловість.

Підприємствами недержавної форми власності вироблено близько 85 % продукції.

Активізувалась інноваційна діяльність. У промисловості впроваджено 66 нових прогресивних технологічних процесів.

Значно підвищилась якість товарів. Високих нагород неодноразово удостоювалась продукція акціонерних товариств “Шосткінський молкомбінат”, “Конотопм’ясо”, “Крафт Фудз Україна”, “Роменський молочний комбінат”, “Охтирський сиркомбінат” та ТОВ “Горобина”.

У результаті об’єднання на корпоративній основі ряду підприємств харчової промисловості області створено ТОВ “Прогрес-Інвест”, де на базі впровадження сучасного технологічного обладнання, сучасних інформаційних технологій, реалізації інноваційних та інвестиційних проектів, автоматизації виробничих процесів і управління, маркетингового дослідження ринку досягнуто високих результатів у фінансово-економічній діяльності.

1.2 Агрокліматичні особливості Сумської області

Сумська область знаходиться у помірному кліматичному поясі, де чітко виражені пори року. В межах північних та південних, західних і східних її районів кліматичні умови помітно різняться. Причина контрастів криється в

особливостях формування клімату окремих територій в результаті особливостей прояву основних кліматичних факторів.

Клімат будь-якої території в цілому, і Сумської області зокрема, залежить у своєму формуванні від особливостей прояву факторів кліматотворення: географічної широти та радіаційних умов території, циркуляційних процесів атмосфери, впливу підстилаючої поверхні (орографічних особливостей, близькості морів та океанів).

Географічна широта безпосередньо визначає надходження сонячної радіації, кількість якої залежить від кута падіння сонячних променів. Останнє в свою чергу визначає температурний режим поверхні й повітря. Циркуляційні умови впливають на формування режиму випадання атмосферних опадів, а характер підстилаючої поверхні й близькість морів та океанів впливають на амплітуди коливань температур у різні періоди часу, тобто зумовлюють прояв певного ступеня континентальності клімату [1].

Радіаційні умови території. Однією з основних характеристик клімату є сонячна радіація, кількість якої залежить від висоти сонця над горизонтом, а також тривалості дня, хмарності, прозорості атмосфери. (Простягнувшись з півночі на південь більше, ніж на 200 км, територія Сумської області отримує різну кількість сонячної енергії і, як наслідок, по-різному складається тепловий режим та режим зволоження в її межах, що зумовлює різницю в природних процесах на території області. На Сумщині за умови безхмарної погоди максимально можливе значення сумарної сонячної радіації може досягати 150 ккал/см на рік. Це майже стільки ж, скільки отримує територія Кримського півострова за звичних погодних умов. Однак, майже із-за щоденної хмарності сумарна радіація на Сумщині становить лише 90 ккал/см на рік у північних її районах та 95-97 ккал/см на рік - у південних. Тобто, кількість сонячної радіації в області збільшується в цілому в напрямку з півночі на південь.

У середньому за рік на території області спостерігається 105 днів без сонця (хмарних). Загальна ж кількість годин сонячного сяйва для південних районів області становить 1839, а для північних— 1747.

Наприкінці лютого радіаційний баланс збільшується майже по всій території Сумщини та стає близьким до нуля. В березні середньомісячні величини радіаційного балансу дорівнюють $0,2 \text{ ккал/см}^2$, а в травні значення балансу досягає літніх величин - 7 ккал/см^2 за місяць. Максимальні величини балансу спостерігаються в червні-липні та становлять $8,0-8,5 \text{ ккал/см}^2$. Починаючи з серпня місяця радіаційний баланс рівномірно зменшується та в листопаді досягає нульових і від'ємних значень.

Річні ж суми радіаційного балансу на території області становлять 38-45 ккал/см^2 . Надлишок отриманої сонячної енергії в літній період витрачається на процеси випаровування вологи, нагрівання ґрунту та нижніх шарів атмосферного повітря [1].

Взимку радіаційний фактор впливає на температурний режим слабше, тут вступає в дію прихід тих чи інших повітряних мас, які мають різні характеристики в залежності від властивостей поверхні, над якою вони формуються. В холодний період року територією області поширюються помірні повітряні маси, які надходять з Атлантики. Вони приносяться західними, північно-західними та південно-західними вітрами. Формуючись над більш теплою морською поверхнею, ці маси зумовлюють різкі потепління із відлигами, й часто їх прихід супроводжується туманами, розвитком низької хмарності. У такі періоди температура повітря підвищується до позитивних значень ($+5^\circ \dots +10^\circ \text{C}$).

Однак, значення температури повітря залежать не лише від кількості сонячної радіації, а й від циркуляції атмосфери та особливостей підстилаючої поверхні.

Основними циркуляційними процесами, які впливають на формування клімату будь-якої території, є перенесення різних повітряних мас, їх

трансформація та виникнення атмосферних фронтів, циклональна й антициклональна діяльність.

Циркуляційні процеси на Сумщині визначаються, перш за все, загальними особливостями атмосферної циркуляції, які представлені на території Європи в цілому. Взимку повторюваність затікання арктичного холодного повітря на територію Сумщини перевищує надходження досить теплих та вологих атлантичних мас (як 60 % та 40 % відповідно). В зимовий період територію області може захоплювати в зону своєї дії відріг Азіатського (Сибірського) максимуму (антициклону), посилюючи вплив сухих повітряних мас. У такі періоди спостерігається розвиток морозної сухої погоди. Саме в такі періоди фіксуються вранішні мінімальні температури, які становлять -35°C – -40°C .

Вітровий режим Сумської області складається в літній час в основному з вітрів північно-західного та західного напрямку, а в окремі періоди, за умов панування антициклону, — південного та південно-східного напрямків. У зимовий період частіше за все спостерігаються вітри північного та північно-східного напрямків, які пов'язані із просуванням арктичного фронту в помірні широти. Сила ж вітру зазвичай є незначною і становить до 5 м/сек, однак в окремі періоди, особливо влітку, вона може досягати 40 м/сек.

Внаслідок абсолютної рівнинності поверхні території Сумської області, рельєф практично не впливає на зміни циркуляційних процесів (не заважає проникати потокам повітря різних напрямків) та позитивно позначається на рівномірному розподілі опадів.

Особливості термічного режиму на території Сумської області в свою чергу характеризується середньомісячною температурою повітря. Так, середні температури самого холодного місяця січня становлять $-7,1^{\circ}\text{C}$ - $-8,0^{\circ}\text{C}$. З квітня починається інтенсивне підвищення середніх місячних температур повітря від $+5^{\circ}\text{C}$ до $+16^{\circ}\text{C}$. У липні температура повітря протягом місяця досягає найвищих значень: $+18,6^{\circ}\text{C}$ - $+20,1^{\circ}\text{C}$ (у північних та південних районах відповідно). Середньомісячна температура нижче від 0°C повсюдно

спостерігається протягом грудня, січня та лютого, а в межах території більшої частини північних районів Сумщини — й протягом листопада.

Річний хід температури повітря в області відноситься до континентального типу. Середні добові температури, котрі спостерігаються в окремі дні в одних і тих же пунктах, відрізняються від середньої за місяць. Так, у літній період температура повітря може зростати до $+32^{\circ}\text{C}$ - $+37^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум температури досягав значення $+39,9^{\circ}\text{C}$ (м. Суми). Такий підвищений фон температури пов'язаний з надходженням повітряних мас з районів сухих субтропиків й антициклональним режимом погоди. У цілому ж тривалість періоду з високою температурою в області залежить від величини й потужності антициклону [1].

Кількість днів на рік із середньодобовими температурами близько $+25^{\circ}\text{C}$ - $+30^{\circ}\text{C}$ є незначною і становить 4-5, а випадки, коли середня температура доби перевищує $+30^{\circ}\text{C}$, є достатньо рідкісними (1 раз на 30 років), але за останнє десятиріччя їх розвиток має значно більшу інтенсивність - починаючи з 1999 року таких випадків в області було зареєстровано п'ять.

Сума середньодобової температури у період, коли вона є вищою від $+10^{\circ}\text{C}$, коливається в межах від 2300°C у північних, до 2800°C у південних районах області.

Проте, трапляються випадки, коли літо буває надзвичайно холодним та більше нагадує осінь чи весну. Так, дуже холодне літо на Сумщині спостерігалось у 1976 році, коли в окремі періоди були такі значні похолодання, що середньодобова температура становила лише $+4^{\circ}\text{C}$ - $+6^{\circ}\text{C}$.

Сильні ж морози в цілому в області спостерігаються протягом січня-лютого, хоча в окремі роки вони можуть спостерігатися і в грудні, рідше - в березні. Морози з температурою повітря у -25°C та нижче, як правило, спостерігаються протягом 5-15 днів на рік, хоча були роки (наприклад, 2006 р.), коли період з такою низькою температурою тривав 30 діб.

У літній період температура повітря може знижуватися до від'ємних значень (спостерігаються заморозки) навіть у червні місяці, хоча в цілому на

Сумщині це є досить рідкісним явищем. Вони пов'язані з надходженням холодних сухих північно-східних вітрів. У травні заморозки спостерігаються 1 раз кожні два роки.

У зимовий час у Сумській області частим явищем є відлиги (підвищення температури повітря до позитивних значень), але різної інтенсивності й тривалості, яке обумовлено затіканням атлантичного повітря. Так, майже кожного року ми можемо спостерігати в будь-який зимовий місяць відлиги, різні за тривалістю: від 1-2 до 30 днів, і протягом зимового періоду вони можуть повторюватися декілька разів.

Тривалість теплового періоду (з середньодобовою температурою вище 0°C) на території Сумської області становить 230-240 днів (у північних та південних районах відповідно), а безморозного періоду (під час якого від'ємна температура взагалі не спостерігається) - 153-163 дні відповідно.

Від кількості випадających опадів, яка на Сумщині залежить режим зволоження території. Головною причиною зміни кількості та характеру опадів, що випадають, є циркуляційні процеси, зокрема проходження циклонів та фронтів. Середньорічна кількість опадів по області в цілому становить 520-600 мм, зменшуючись у напрямку з півночі на південний схід.

Проте, кожні 2-3 роки з 10 випадків опадів випадає значно менше норми.

Окрім розвитку ерозійних процесів, з розвитком холодного та дощового літа пов'язані процеси дозрівання культурних рослин (наприклад, хлібних). Так, коли літня кількість опадів складає по області 1,5-2,5 частини місячної норми, хлібні культури бувають залитими водою та "полягають". У цей час спостерігається "стікання" зерна. Часто разом із дощем у літній період випадає град, який також завдає значної шкоди сільському господарству. В північних районах області зливи бувають зазвичай більш рідкими та менш інтенсивними, хоча в залісених районах опадів випадає в цілому більше, ніж у малолісних. Це пояснюється тим, що повітря над лісом легше затримується, зменшуючи швидкість свого руху та, як наслідок,

покращуються можливості конденсації вологи у ньому. Так, наприклад, у заліснених місцевостях Тростянського району опадів за рік випадає на 30-60 мм більше, ніж у малолісних районах Сумського району, хоча останні й розміщуються далі в північно-західному напрямку.

Для літнього сезону характерними бувають також і затоки сухого тропічного повітря, яке надходить із центральних районів Азії. Під час таких періодів починається посуха, протягом якої опади випадають у кількості не більше, ніж 1-5 мм або не випадають зовсім. Посуха може тривати від 15 днів та більше. У холодний період року на території області опади частіше за все випадають у вигляді снігу, або ж розвиток отримують рідкі опади обложного характеру; хоча в цей період буває значно менше опадів, ніж під час теплого сезону, але в окремі роки їх кількість може бути значною. Випадання снігу обумовлює формування снігового покриву, який лежить у середньому 100 днів. Зазвичай він з'являється 10-20 листопада, але після цього не раз сходить із-за підвищення температури повітря. Стійкий сніговий покрив на території області встановлюється лише 10-20 грудня.

Датами сходження снігового покриву на півдні області є друга, а на півночі - третя декада березня. Однак, в окремі роки ці терміни значно змінюються або ж сніговий покрив може бути повністю відсутнім.

У цілому висота снігового покриву на Сумщині в зимовий сезон буває незначною і становить близько 17-20 см та лише на півночі вона має 30-40 см при максимумі наприкінці лютого. Важливу снігозатримуючу роль відіграє ліс. Тому, в залісених ділянках снігу накопичується зазвичай у 2-3 рази більше, а висота снігового покриву завжди є вдвічі більшою, ніж на відкритих просторах. Збільшення потужності снігового покриву в лютому місяці зумовлено не великою кількістю опадів, а накопиченням їх внаслідок відлиг у цей час [1].

Глибина промерзання ґрунту на кінець зими в середньому становить 75-85 см й під час дуже холодних і затяжних зим вона досягає потужності 120-190 см, а під час відносно теплих - 30-50 см. Розмерзання ґрунту на

повну глибину в південно-східних районах Сумщини відбувається в першій декаді, а в її центральних районах - у другій декаді квітня.

За ступенем зволоження територія Сумської області поділяється на два райони: південний середньозволожений та північний достатньо зволожений (південним кордоном якого слугує долина р. Сейм). Коефіцієнти зволоження території Сумщини становлять відповідно 0,96 та 1,2-1,43.

Таким чином, клімат Сумської області має характерні для Лісостепової зони України риси. Він поєднує в собі риси значної континентальності з відчутним впливом Атлантичного океану. Морські повітряні маси надходять до Сумської області досить часто, в середньому 149 днів на рік. Завдяки пануванню високих температур навіть взимку опади часто випадають у вигляді дощу; в силу цього сніговий покрив не отримує значного розвитку та великої стійкості. До кінця літа відчутним є значне прогрівання поверхні материка, тому повітряні маси трансформуються і надходять на територію області значно висушеними та прогрітими.

2. БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРТОПЛІ ПО ВІДНОШЕННЮ ДО ФАКТОРІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Широке поширення картоплі в світі свідчить про його високу екологічну пластичність. Картопля - культура досить широких температур; чим більше температура середовища виростання картоплі відрізняється від температури батьківщини картоплі, тим більше знижується його врожайність [22]. За агрометеорологічної класифікації він відноситься до культур помірного, вологого клімату і пухких ґрунтів. На батьківщині культурного картоплі Чилі він обробляється в перебігу багатьох тисячоліть в умовах рясного зволоження (до 3000мм) при середніх добових температурах до 15-16⁰С, тривалості дня 12-15 годин, незначних коливаннях добових амплітуд температур, вкрай рідкісних заморозків в період вегетації і відносній

вологості повітря більше 75 %. Отже, картопля в філогенезі пристосувалася до знижених температур, рясного зволоження і середньої довжини дня [16].

2.1 Ботанічна характеристика картоплі

У нашій країні картоплю вирощують майже всюди, вона легко пристосовується до найрізноманітніших умов середовища, здатна за порівняно короткий вегетаційний період (70...100 днів) накопичувати високі врожаї. Рослина не пристосована до спеки і низьких температур. Бульби не виносять температуру $-1...2^{\circ}\text{C}$. Часті зміни температурних режимів протягом вегетаційного періоду рослини нерідко викликають зниження чи тимчасове припинення бульбоутворення, і навіть нерівномірне зростання частин бульби.

Коренева система може бути мичкуватою або стрижневою. Під час розмноження картоплі бульбами формується мичкувата коренева система, а насінням - стрижнева. Корені проникають у ґрунт на глибину 1,5 м.

Стебло прямостояче висотою від 0,5 до 1,5 м, галузиться, ребристе. Картопля утворює кущ з 4-8 стебел. З видозмінених підземних пагонів (столонів) утворюються бульби.

Поверхня бульби вкрита вторинною покривною тканиною - корком, на поверхні якого багато невеликих отворів, так званих сочевичок, і вічок. Кожне вічко має три-чотири і більше бруньок.

У бульбі розрізняють верхівку, яка є кінцем, що росте, протилежну частину - пуповинний, або стелонний кінець. Розрізняють також верхній більш опуклий і нижній плоскіший боки бульби.

Форма бульб буває різною - видовженою, овальною, округлою та ін. Забарвлення - біле, жовте, рожеве, червоне, синє. М'якуш - білий, жовтий, червоний, синій. Форма бульби та її забарвлення, поряд з іншими характеристиками, є сортовими ознаками культури.

На використанні бульб та їх частин, як садивного матеріалу, ґрунтується вегетативне розмноження картоплі.

Листки картоплі черешкові переривчасто-пірчасто-розсічені. В їх будові виділяють долі, дольки і долечки. Особливості будови листка є характерною ознакою кожного сорту картоплі.

Квітки картоплі п'ятірного типу самозапильні, зібрані в суцвіття завиток. Забарвлення пелюсток різне - від білого до фіолетового та рожевого.

Плід - м'ясиста багатонасінна ягода. Насіння дрібне, плескате. Маса 1000 насінин близько 0,5 г.

Основними фазами росту картоплі є: садіння, сходи, утворення бокових пагонів, поява суцвіть, цвітіння, кінець цвітіння, в'янення бадилля [16].

2.2 Відношення картоплі до температури

Картопля належить до рослин помірного клімату. На температуру нижче 7-8°C та вище 30°C реагує припиненням росту. Надмірна спека (вище 25°C) сильно пригнічує рослини. Якщо ґрунт прогрівається вище 29°C - бульби не утворюються або формуються дочірні бульбочки.

Бульби картоплі, які пройшли період спокою, починають проростати за 3-5°C, однак агрометеорологічним показником початку росту картоплі вважають температуру 7°C. Проте оптимальна температура для проростання бульб є 18-20°C, за якої сходи з'являються через 12-13 днів. Максимальний урожай картоплі забезпечується за середньодобової температури 17-18°C.

Картопля чутлива до незначних приморозків. Пошкодження картоплиння настає за -1,5-2 °C. Приморозки -3-4,5 °C пошкоджують картоплиння на 60-100 % і знижують врожайність бульб на 25-65 %, залежно від фази розвитку рослини і часу ураження приморозками. Особливо нестійкі до приморозків молоді рослини. Листки і стебла чорніють і гинуть. Проте

молоді рослини швидко відростають і формують добрий урожай бульб. Значно небезпечніше пізнє повернення приморозків. Бувають випадки повної весняно-літньої загибелі рослин під впливом пізніх приморозків у фазі бутонізації, особливо на торфових ґрунтах на понижених місцевостях.

Краща температура для проростання бульб $18-20^{\circ}\text{C}$. Сходи в цьому випадку з'являються на 10-12 день після посадки, в той час як при стійкому падінні температури нижче $7,0^{\circ}\text{C}$ сходи нерідко з'являються через 30-35 днів і навіть через 50 днів [4].

Знижені температури також негативно впливають на ріст рослини картоплі. Так, наростання вегетативної маси майже повністю припиняється при температурі нижче 7°C , а фотосинтез, хоча і триває аж до заморозків, відбувається дуже повільно.

Менш небезпечні знижені температури на початку вегетації, так як у молодому віці рослини картоплі мають гарну регенераційну здатність.

Бадилля картоплі (листя і стебла) при вирощуванні його на помірно вологих ґрунтах краще розвиваються при температурі повітря $18-25^{\circ}\text{C}$. У таких умовах асиміляція двоокису вуглецю і утворення вуглеводів також відбувається найбільш інтенсивно. При температурі повітря $40-41^{\circ}\text{C}$ фотосинтез повністю припиняється [4]. Для ранніх сортів картоплі найбільш сприятливою температурою для утворення бульб є 17°C , для середньостиглих сортів 19°C .

Високі температури гнітюче діють на утворення бульб картоплі. Невельми сприятливо такі температури впливають на ранні сорти. При вирощуванні картоплі на протязі 2-х місяців при різних температурах і однакових інших умовах відзначено повне припинення утворення бульб у варіантах з температурою ґрунту 29°C . У цих дослідях різке гальмування процесу утворення бульб відзначено вже при температурі ґрунту вище 20°C .

Як встановлено експериментально [4], рівень температури, крім безпосереднього впливу, має велике значення для ферментативних перетворень вуглеводів, що забезпечують накопичення крохмалю в бульбах.

Недостатня температура повітря і ґрунту також негативно позначається на фотосинтетичній діяльності рослин і засвоєнні ними найважливіших елементів живлення. При зниженні температури ґрунту в орному горизонті з 15-20 до 10 – 14⁰С істотно зменшується поглинання нітратів (на 20-60 %) і фосфорної кислоти (на 19-33 %), внаслідок чого бадилля розвивається слабо [16].

Високі температури в поєднанні з довгим днем викликають «кліматичне виродження» картоплі. Особливо несприятливо діють підвищені температури в нічний час доби. «Кліматичне виродження» картоплі починається при середній температурі повітря в період утворення бульб, що перевищує 18⁰С. При середній добовій температурі від 19 до 21⁰С число дуже тонких і ниткоподібних паростків на бульбах картоплі збільшується і доходить до 20 %. При температурі 24⁰С виродження бульб досягає 50 % і більше. При температурі вище 25⁰С спостерігається виродження 70 % рослин і більше.

2.3 Відношення картоплі до світла і вологи

Картопля досить вимоглива до вологи, оскільки формує велику підземну масу при відносно малорозвиненій кореневій системі. Тому високі врожаї збирають при вологості ґрунту 75-85 % НВ. Зниження вологості до 60 % призводить до зменшення врожайності на 3-9 %, а до 40 % НВ - на 40-43 %.

Найменше вологи картоплі потрібно під час проростання й появи сходів, коли молоді рослини використовують вологу з материнської бульби. Функцію регулятора з забезпечення вологою відіграють також молоді бульби. В умовах нестачі вологи в ґрунті рослина бере воду з бульб, а при повному зволоженні - бульби наповнюються вологою і є додатковим резервом її для росту рослин.

З ростом рослин підвищується потреба картоплі у волозі, особливо у період бутонізація - кінець цвітіння. Транспіраційний коефіцієнт картоплі становить 400-550. В окремі спекотні дні кущ картоплі випаровує до 4 л води. Тому в районах недостатнього зволоження всі агрозаходи мають бути спрямовані на нагромадження запасів вологи в ґрунті. У таких умовах картопля добре реагує на полив.

Надмірне зволоження ґрунту (85% і більше) під час бульбоутворення призводить до передчасного відмирання бадилля, припинення росту бульб, спричинює їх загнивання. Урожайність різко зменшується.

Рослина картоплі пред'являє високі вимоги до умов освітленості, вона дуже світлолюбна. Навіть при невеликому ослабленні освітлення спостерігається пожовтіння бадилля, ослаблення або відсутність цвітіння, зниження врожайності [4]. Експериментами з штучним затемненням посадок встановлено, що освітленість вважається недостатньою, якщо вона знижується у порівнянні з природною на 33 %. При освітленості, відповідної приблизно 30 % природної, відзначено зменшення сухої маси рослин на 38 %. При цьому суха маса стебел збільшувалася на 57 %, а суха маса бульб знизилася на 80 % у результаті чого співвідношення бульби - бадилля різко зменшилося.

За характером фотоперіодичної реакції, картопля віднесена до нейтральних рослин, тобто до таких, які здатні проходити цикл індивідуального розвитку при будь-якій довжині дня. У зв'язку з тим, що у культурних сортів картоплі при короткому дні утворення бульб прискорюється, а цвітіння при цьому затримується, деякі дослідники відносять її до рослин короткого дня.

В даний час вважається, що всі сорти культурної картоплі здатні зав'язувати бульби і утворювати зачатки квіток при будь-якої тривалості світлового дня, але при короткому дні в температурних умовах середніх широт прискорюється процес утворення бульб і скорочується тривалість

вегетаційного періоду. У таких умовах раніше закінчується ріст стебла, раніше утворюються бульби, але рослини також раніше і відмирають [4].

На ранніх етапах утворення бульб, за цими ж даними, маса бульб в умовах короткого дня вище, ніж в умовах довгого. Але у зв'язку з тим, що при довгому дні формується більш потужне бадилля, визначальна кількість продуктів фотосинтезу, що використовуються при зростанні бульб, загальний урожай бульб при довгому дні найчастіше виявляється вище, ніж при короткому.

Основним процесом утворення органічних речовин рослинами картоплі є фотосинтез. На частку органічних речовин, що утворюються в процесі фотосинтезу рослин, припадає більше 90 % ваги сухих речовин, синтезованих рослинами. При нестачі світла урожай картоплі знижується.

Підвищена вимогливість картоплі до умов освітленості викликає необхідність суворого дотримання оптимальної густоти посадки. В умовах середніх широт потужність світлового потоку у вегетаційний період становить: 55-60 тис. лк в період масових сходів і 41-58 тис. лк в період інтенсивного утворення бульб, тобто вона майже в 2 рази підвищує рівень, при якому в польових умовах спостерігається світлове насичення фотосинтезу і тому не є лімітуючим фактором. Встановлено, що оптимальна освітленість у посівах, що забезпечує максимальну продуктивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості, створюється при площі листкової поверхні 30-40 тис. м²/га. У таких випадках достатня освітленість рослин забезпечує найбільш повне поглинання сонячної радіації.

Світло і тепло мають значення для розвитку і зростання, і створення врожаю при наявності достатнього зволоження ґрунту і повітря в період вегетації. Вода входить до складу органічних речовин і бере участь у всіх фізіологічних і біологічних процесах. Завдяки транспірації забезпечується рух водного розчину поживних речовин з кореня в листя.

На різних етапах життєвого циклу рослина картоплі пред'являє різні вимоги до ґрунтової вологи і опадів. Потреба картоплі у волозі визначається біологічними особливостями культури, хімічним складом і значним обсягом надземної маси, а також врожайністю бульб.

Культура картоплі характеризується і як вельми вимоглива до вологості ґрунту і одночасно як стійка до посухи [4]. Високе споживання картоплею вологи на певних етапах онтогенезу значною мірою визначається тим, що коренева система інших рослин. Розвивається коренева система переважно до глибини 60-70 см.

Експериментально доведено, що на початку і в кінці онтогенезу - періоди сівба - сходи і відмирання бадилля - потреба рослин картоплі у волозі незначна. У період від сходів до бутонізації вона дещо збільшується, але продовжує залишатися на порівняно невисокому рівні. Критичним періодом щодо споживання вологи є період від бутонізації до початку в'янення бадилля, тобто період початку та інтенсивного утворення бульб.

Оптимальні умови для накопичення врожаю бульб створюються при безперебійному постачанні рослин вологою, що можливо в тому випадку, якщо вологість ґрунту в зоні поширення основної маси коренів в цей період підтримується на рівні 70-80% повної вологості [16].

Як зазначає А.Г. Лорх [14,15], урожай бульб картоплі ранніх сортів визначається опадами червня, середньостиглих - опадами липня і серпня, а пізніх - опадами липня, серпня і вересня.

2.4 Вимоги картоплі до ґрунту

Найкраще картопля росте на пухких, добре розпушених ґрунтах. Коренева система картоплі інтенсивно дихає, поглинаючи кисню у 5-10 разів більше, порівняно з іншими рослинами. Для насичення ґрунту достатньою кількістю кисню, його потрібно утримувати в досить розпушеному стані з

об'ємною масою не більше 1,0-1,2 г/см³. У перезволожених, ущільнених ґрунтах вміст кисню зменшується до 2 %, а вміст вуглекислого газу різко збільшується. За таких умов бульби задихаються і загнивають. На ущільнених ґрунтах погано розвиваються столони, картопля формує дрібні, деформовані бульби.

Картоплю вирощують на удобрених супіщаних і суглинистих чорноземах, дерново-підзолистих, сірих лісових ґрунтах. Для вирощування насіння добре підходять окультурені торфовища. При внесенні високих норм органіки картопля добре родить на легких піщаних ґрунтах.

Малоприсадибні для вирощування картоплі важкі глинисті ґрунти, особливо з близьким заляганням ґрунтових вод. Не підходять також засолені ґрунти, оскільки картопля має дуже низьку солестійкість. Найкраще росте на слабокислих і нейтральних ґрунтах. При рН нижче 5,0 і вище 8,0 вона росте погано.

Головними умовами оптимізації кореневого харчування картоплі є достатня насиченість ґрунту фосфатами, максимальна калієм і мінімальна азотом.

Азот для картоплі особливо важливий навесні, у літній період звичайно вистачає азоту, продукційного ґрунтом, тому мінеральні азотні добрива потрібно вносити ранньою весною, до посадки.

При нестачі в ґрунті азоту підземні органи картоплі розвиваються слабо, листя здобувають блідо - зелене забарвлення й стирчить нагору, знижується врожай і крохмальність бульб. При надлишку азоту спостерігається надмірний ріст бадилля, затримується утворення бульб і подовжується період вегетації. Рослині шкідливі як нестача, так і надлишок азоту. При нормальному азотному харчуванні рослина краще засвоює калій і фосфор.

Достатнє харчування фосфором сприяє кращому розвитку кореневої системи, раніше настає період бульбоутворення, збільшується врожай і крохмальність бульб, поліпшуються їхня легкість і насінні якості. При

нестачі фосфору затримується розвиток рослин, особливо цвітіння й дозрівання, сповільнюється ріст пагонів і корінь, листи дрібні й вузькі.

Найбільшої уваги вимагає забезпечення картоплі достатнім запасом легкозасвоюваного калію, тому що він не виносить підвищеного вмісту хлору в ґрунті, але з високим урожаєм вимагає так багато калію, що це не можна внести за один раз, обов'язково потрібні підгодівлі. З обліком викладеного під картоплю з осені необхідно вносити $2/3$ загальної необхідної дози калію у вигляді хлористого калію, щоб надлишок хлору вийшов з осінньо-весняними водами, що залишилися калій дають у міжряддя після появи сходів, у безхлорній формі, у вигляді сульфату калію. Калій відіграє важливу роль у процесах фотосинтезу, білковому й вуглеводному обмінах, істотно впливає на врожайність й якість картоплі, підвищує стійкість до заморозків і хвороб. При нестачі калію листи здобувають бронзове забарвлення, стають зморшкуватими й передчасно відмирають, коренева система розвивається слабкіше, бульби набувають трохи подовжену форму, бувають дрібними [16].

Для нормального росту й розвитку картоплі й одержання високих урожаїв бульб, необхідні кальцій, магній, залізо, марганець, сірка, мідь, цинк.

Тільки при наявності всіх цих елементів у ґрунті для розвитку картоплі забезпечується його найвища продуктивність [4].

На звичайних і потужних чорноземах часто на першому місці по ефективності стоїть фосфор, па другому - азот. Незважаючи на велике споживання картоплею калію, ефективність калійних добрив на більшості ґрунтів слабкіше, ніж азотних, а часто й фосфорних добрив. Потреба в калії збільшується при внесенні високих норм азоту й фосфору. У той же час на заплавлених і торф'яних ґрунтах калійні добрива по ефективності займають перше, на піщаних й супіщаних дерено-підзолистих ґрунтах - друге місце після азотних. На цих ґрунтах необхідно вносити більш високі норми калійних добрив навіть при застосуванні гною.

Азотні добрива доцільно вносити навесні під переорювання зябу або передпосівну культивуацію. Амонійні й аміачні форми добрив можна застосовувати також з осені.

Велике значення для забезпечення більш сприятливих умов харчування в початковий період росту має локальне внесення добрив у лунки при посадці картоплі.

Під картоплю рівною мірою застосовують всі форми промислових азотних добрив. На кислих ґрунтах поряд із суперфосфатом як основне добриво можна застосовувати фосфоритне борошно (у полуторних або подвоєних дозах у порівнянні із суперфосфатом), а також інші фосфорні добрива. По своїй дії на врожай картоплі сульфатні й хлористі форми калійних добрив, як при разовому, так і тривалому застосуванні в сівозміні практично рівноцінні. Однак хлористі форми калійних добрив можуть знижувати відносний зміст крохмалю в бульбах картоплі. Внесення хлорвмісних калійних добрив з осені значною мірою усуває шкідливу дію хлору на картоплю (у результаті вимивання хлору із ґрунту з опадами).

Під впливом фосфорних добрив відносний вміст крохмалю в бульбах може підвищуватися, а під впливом азотних - трохи знижуватися. Однак внаслідок збільшення врожаю картоплі при застосуванні добрив валовий збір крохмалю з одиниці площі завжди зростає.

3. СУЧАСНИЙ СТАН МОДЕЛЮВАННЯ Й ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ

Фактори зовнішнього середовища діють на інтенсивність фізіологічних процесів, що протікають у рослині. Моделюється ефект цього впливу, взаємозв'язок між окремими процесами на стан рослинного покриву. Моделювання формування врожаю картоплі містить кількісний опис процесів фотосинтезу, перетікання запасних живильних речовин з

материнської бульби, дихання, росту й розвитку. Розглядається, що рослина складається з п'яти узагальнених органів - листа, стебла, кореня, бульби, що росте й материнської бульби [24].

Інтенсивність фотосинтезу кожного з фотосинтезуючих органів (листіків і стебел) описується з урахуванням впливу на фотосинтез фази розвитку рослини, інтенсивності ФАР, концентрації CO_2 , температурного режиму у світлий час доби й вологозабезпеченості посадок, а також забезпеченості рослин елементами мінерального харчування. Перетікання запасних речовин з материнської бульби в молоду рослину розглядається пропорційним запасам речовини в материнській бульбі. Поряд з перетоком вуглеводів з материнської бульби, особливістю рослини картоплі є також темнова фіксація CO_2 , що грає досить істотну роль у вуглеводному балансі. Інтенсивність темної фіксації змінюється в онтогенезі. На ранніх фазах розвитку нічна фіксація CO_2 може становити 15-20 % фотосинтезу о півдні.

Динаміка біомаси описується ростовими рівняннями. Дихання ураховується через витрати на дихання росту й дихання підтримки.

При формуванні врожаю картоплі його зниження найбільше часто відбувається під впливом погодних умов, а також через вплив хвороб і шкідників.

3.1 Моделювання процесів формування врожаю картоплі

Розробка динамічних моделей продуктивності сільськогосподарських культур дозволяє досліджувати вплив агрометеорологічних умов на найважливіші процеси життєдіяльності рослин, пояснити цілий ряд особливостей впливу цих умов на продуктивність рослин, вивчити адаптивні реакції на зміну умов зовнішньої. Ці моделі можуть розглядатися як основу для розробки методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

Відомо багато динамічних моделей продуктивності різних сільськогосподарських культур, які дозволяють оцінити ріст рослини протягом вегетаційного періоду як результуючу основних фізіологічних процесів. Розроблено динамічні моделі продукційного процесу картоплі. Важливі роботи з динаміки формування врожаю картоплі залежно від агрометеорологічних умов, що не втратили свого значення дотепер, виконані А.Г. Лорхом [14,15].

У роботі А.М. Польового [20] запропонована динамічна модель продукційного процесу картоплі для оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю картоплі. Модель дозволяє розрахувати динаміку формування врожаю, впливу на цей процес основних факторів зовнішнього середовища. Для розрахунку біомаси картоплі запропонована система рівнянь, що описує динаміку біомаси всіх органів рослини, площі листової поверхні. Видимий фотосинтез розраховується залежно від ФАР. У цій моделі враховується також роль материнської бульби. Органічна речовина бульби є не тільки будівельним матеріалом для створення молодих органів рослини - коріння, стебла і листків, але й джерелом енергії, необхідної для перетворення речовин і процесів росту. Особливістю цієї моделі є облік середньодобових значень основних екофакторів, з яких враховуються водний режим ґрунту, радіаційний і тепловий режими, а також ушкодження рослин інфекцією. Рівень мінерального харчування в розрахунках приймається оптимальним.

Більшу динамічну модель продукційного процесу картоплі (РОТАТО) імітаційного типу розробили Нджи й Луміс. У модель включені всі основні відомості по фізіології картоплі, у результаті чого вона вийшла досить громіздкої. Власне розробка моделі РОТАТО велася з наступними цілями: 1) вивчення закономірностей фізіології рослин; 2) аналіз впливу клімату на врожай; 3) оцінка впливу генотипу на продукційний процес; 4) розробка стратегії керування врожаєм. Автори справедливо вважають важким і навіть

неможливим досягти цих цілей тільки шляхом експериментальних досліджень, і моделювання із цього погляду є пізнавальним інструментом.

Модель РОТАТО має ієрархічну структуру. Процеси і їхні параметри включаються в модель на рівні ценозу, рослини й окремого органа. Ураховуються зворотні зв'язки між окремими організаційними рівнями. Зроблено ряд допущень, які зменшують можливості моделі. Вологість ґрунту й мінеральне харчування вважаються не лімітуючими. Досить приблизно враховується сонячна радіація при розрахунку фотосинтезу. При розрахунку фотосинтезу враховується концентрація фонду асимілятів, причому вважається, що інтенсивність фотосинтезу підвищується після початку формування бульб. На цьому рівні використовується світлова крива фотосинтезу з більше високим плато.

Розрахунок росту моделлю РОТАТО починається з появи паростків із ґрунту. У цей час рослини використовують резерви з материнської бульби. Надалі залежно від віку використовуються експериментальні криві росту головного стебла й стеблових вузлів, листків і бульб.

Модель ураховує вплив температури на ріст. Для стеблових вузлів і листків використовуються однакові криві, згідно з якими ріст цих органів починається з температури 4 °C, має максимум при температурі між 20-28 °C и починаючи з температури 28 °C різко сповільнюється.

У модель включена також залежність росту окремих органів від фонду асимілятів. Літературні дані показують, що пріоритет використання асимілятів відбиває близькість того або іншого органа до джерела асимілятів - листкам. Ріст органів виражається у формі лінійних залежностей від стану фонду асимілятів. Ефект впливу фонду асимілятів починає проявлятися тоді, коли на запас залишається 3 % загальної сухої біомаси рослин і досягає максимуму при фонді 6 %. Вплив на ріст бульб починається й набуває максимум при фонді у два рази більшому. Вплив вмісту води в рослинах на ріст ураховується лінійною емпіричною залежністю.

Вміст вуглеводів у фонді асимілятів розраховується як різниця між фотосинтезом і диханням шляхом включення притоку речовин із старіючих органів. За аналогією із загальноприйнятою схемою дихання визначається як сума дихання росту й підтримки. При цьому коефіцієнт витрат на дихання росту для листків дорівнює 0,4 г/г, для стебел, коріння, бульб -0,3 г/г. Для дорослих листків коефіцієнт витрат на дихання підтримки при 25 °С становить 0,0017 г/(г·ч).

Проведено аналіз чутливості моделі, що дозволяє виявити її недоліки й знайти шляхи вдосконалювання. У ході досліджень мінялися вхідні параметри 6 груп: 1) потенційних швидкостей появи органів; 2) метеорологічних факторів; 3) коефіцієнт витрат на дихання росту; 4) коефіцієнт витрат на дихання підтримки; 5) питомої площі листків; 6) густоти посіву й пов'язаних з нею показників. Результати виконаних чисельних експериментів показують, що модель найбільш чутлива до параметрів першої, шостий, а також п'ятої груп факторів. Проміжною чутливістю володіє модель щодо групи метеорологічних факторів, невеликою чутливістю - щодо коефіцієнтів дихання. Звертає на себе увагу порівняно висока чутливість моделі щодо питомої площі листків.

Основним призначенням розглянутої моделі вважається розвиток фізіології рослин.

Використання моделі РОТАТО в агрометеорології й агрономії, особливо в наших умовах, пов'язане з труднощами й вимагає адаптації, у першу чергу тому, що параметри моделі ставляться до південних сортів, а сама модель орієнтована на використання при зрошенні, коли запаси вологи в ґрунті не лімітують фізіологічні процеси.

За основу моделі Рийтема-Ендроті прийнята модель де Віта яка адаптована для розрахунку приросту бульб картоплі в умовах, коли запаси води в ґрунті лімітовані. У цій моделі приріст біомаси визначається по наступній формулі:

$$\Delta m = \frac{0.5 + 4.4}{r_a + r_s + 4.4} S_c \Delta M_{\text{ПОТ}}, \quad (3.1.1)$$

де $\Delta M_{\text{ПОТ}}$ - потенційний приріст сухої біомаси, г/см²;

0,5 й 4,4 с/см – значення дифузійного опору прикордонного шару r_a й опір мезофіла листків r_m в оптимальних умовах;

r_a й r_s – фактичні значення опору дифузії CO₂ прикордонних шарів й поверхні посіву в умовах водного дефіциту, с/см;

S_c – ступінь покриття поверхні ґрунту рослинами;

C – коефіцієнт, що редукує біомасу, що враховує дихання, вважається рівним 0,68.

Розрахунок урожаю картоплі добре узгоджується з фактичним приростами й кінцевим урожаєм.

Модель А. М. Польового [20], як й інші, є динамічною. Інтенсивність фотосинтезу розглядається по формулі:

$$\Phi = \frac{a\Pi}{1 + B\Pi}, \quad (3.1.2)$$

де a , b - параметри, що характеризують вид світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена листками ФАР.

Інтенсивність дихання розраховується по формулі:

$$K = c_1 M + c_2 \Phi, \quad (3.1.3)$$

де c_1 – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

c_2 – коефіцієнт витрат на дихання росту.

У моделі враховується онтогенетична крива зміни фотосинтезу й дихання. При розрахунках інтенсивність фотосинтезу й дихання множиться на коефіцієнти, що відображають вплив температури повітря й вологості ґрунту, що змінюються в межах від 0 до 1.

При розрахунку перетоку запасних речовин з материнського в органи молодшої рослини визначається по формулі:

$$P = \chi \cdot M_c, \quad (3.1.4)$$

де P – швидкість перетоку вуглеводів з материнської бульби, г/(м²сут);

χ - коефіцієнт, що характеризує швидкість перетока, сут⁻¹;

M_c – запаси живильних речовин материнської бульби, г/м².

У моделі також враховується темнова фіксація CO₂, що може становити 15-20 % фотосинтезу о півдні. Інтенсивність гетеротрофної фіксації приймається пропорційної фотосинтезу з урахуванням впливу температури повітря в темний час доби, тобто:

$$D = \varepsilon \omega \Phi \tau \psi_0, \quad (3.1.5)$$

де D – інтенсивність гетеротрофної фіксації CO₂, г/(дм²ч);

ω - безрозмірний коефіцієнт, співвідношення фотосинтетичної й темнотрофної фіксації в онтогенезі;

ψ_0 - безрозмірна температурна крива нічної фіксації CO₂.

Модель розроблена з метою прогнозу врожайності картоплі й забезпечена програмою для ЕОМ.

Модель Фішмана одна з моделей продукційного процесу картоплі, запропонована для аридних зон. Модель створена на рівні окремої рослини, складається із системи диференціальних рівнянь росту й заснована на концепції фонду асимілятів. Уважається, що фонд пропорційний сухій

біомасі, створеної в результаті фотосинтезу. Ураховується також будова рослин.

Параметри моделі автори визначають загальноприйнятим шляхом калібрування або ідентифікації за експериментальними даними. Отримані розрахункові криві біомаси окремих органів добре узгоджується з дослідними даними.

Автори не обмежилися створенням моделі на рівні окремої рослини. Вони будують модель із прикладною метою, щоб мати можливість прогнозувати ріст і врожайність у різних агрометеорологічних умовах при різній агротехніці. Варто погодитися з позицією авторів, що модель прикладного характеру повинна враховувати функціональні процеси в рослинах й умови зовнішнього середовища, але вона повинна бути не занадто складною для використання.

У моделі Інграма й Мак Клоуда урожай бульб визначається наступним вираженням:

$$Y = \int_{\tau_0}^{\tau_K} a_K F_{II} dt, \quad (3.1.6)$$

де Y – урожай сухої маси бульб, г/м²;

τ_K - день припинення росту бульб;

τ_0 - початок бульбоутворення;

a_K – частка F_{II} вхідна в бульби;

F_{II} – швидкість нетто-асиміляції, г/(м²сут).

Вхідними факторами моделі є середні денні температури повітря, температури ґрунту на глибині 10 см, щільність потоку сонячної радіації.

При розрахунку інтенсивності фотосинтезу F_{II} уважається, що крім інтенсивності ФАР і температури повітря, вона також у значній мірі залежить від швидкості росту бульб як основних споживачів асимілятів. Так, у фазі

росту бульб фотосинтез на основі експериментальних даних вважається в 2 рази вище, ніж у період до появи бульб.

Приріст бульб у фазі їхньої появи розраховується по формулі:

$$\Delta m_4 = m_4 R, \quad (3.1.7)$$

де Δm_4 - швидкість росту бульб, г/(м²сут);

m_4 - суха маса бульб, г/м²;

R – відносна швидкість росту бульб, г/(г·сут), причому R залежить від температури.

Крім описаних основних, відомий також ряд більше простих моделей, які мають великий крок розрахунку (місяць або більше) і побудовані для рішення конкретних прикладних завдань рослинництва або меліорації.

Зокрема, становить інтерес модель для оцінки необхідності осушення або зрошення полів, у тому числі під картоплею, запропонована В.В. Шабановим. Модель приростів просапних сільськогосподарських культур була розроблена П. І. Закржевским у Білорусії. Модель була використана для з'ясування впливу водного режиму (рівнів ґрунтових вод, вологості ґрунту) на врожай цукрового буряка й картоплі вирощуваних на торф'яних ґрунтах осушених боліт.

У роботі Х.Г. Тоомінга й П.Х. Кийва на основі польових експериментальних даних запропонована проста модель для розрахунку врожаю картоплі залежно від сум евапотранспірації. Уперше в цій роботі дається крива забезпеченості врожайності картоплі в різних погодних умовах.

Голландськими дослідниками створена модель SWACRO, призначена для розрахунку водного балансу ґрунту й продукції бульб картоплі. Модель дозволяє розраховувати фактичний приріст через максимально можливий приріст і значення метеорологічних елементів. Максимальний приріст бульб у ґрунті, добре забезпечений добривами й водою, розраховується як різниця

фотосинтезу й дихання. Ураховується фотосинтез стандартного посіву, тобто посіву з листовим індексом, рівним $L=5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Розрахунок дійсного приросту проводиться через максимально можливий з урахуванням транспірації, дефіциту парціального тиску водяної пари в повітрі й максимальній ефективності використання води. З метеорологічних даних у модель входять денні суми опадів і радіації (або тривалість сонячного сяйва), а також температура повітря, відносна вологість і швидкість вітру. Модель SWACRO дозволяє визначати оптимальну дату посадки, строки й норми зрошення посівів картоплі. За допомогою цієї ж моделі докладно досліджений вплив на врожайність типу ґрунту, її ущільнення й осушення.

Хотілося б підкреслити, що при оцінці моделей головним фактором є не ступінь складності й кількість параметрів, включених у розгляд, а ступінь адекватності моделі для рішення поставленого завдання в конкретних умовах зовнішнього середовища. Адекватність нескладних моделей багато в чому залежить від знання автором досліджуваного об'єкта в контексті свого конкретного завдання.

Посів у моделі розглядається як функціонально диференційоване ціле, у якому виділене п'ять ємностей: листки, стебла, корінь, материнська бульба, бульба нового врожаю (l, s, r, c, R). Крок розрахунків за часом – доба. Добовий приріст біомаси кожного органа рослини визначається процесами росту G_p , дихання D_p , розпаду q_p й відпаду відмерлих тканин P_p :

$$dm_p / dt = G_p - D_p - q_p - P_p, \quad (3.1.8)$$

де m_p – маса p -го органа, мг/див²; $p \in l, s, r, c, R$.

Під ростом у моделі розуміється новоутворення структурної маси й передбачається, що весь фонд, що сформувався за добу, вуглеводів перетвориться в структурну масу в процесі росту.

Для опису дихання використана двокомпонентна схема. Прийнято, що дихання складається з дихання росту, прямо пропорційного швидкості росту й дихання підтримки, обумовленого величиною вже сформованої маси органа, вологістю й температурою середовища:

$$D_p = R_g G_p + [D_1(1 - \psi_Q) + D_2] m_p \varphi_Q, \quad (3.1.9)$$

де D_p – дихання p -го органа, мг/(мг·сут);

R_g – коефіцієнт дихання росту;

D_1, D_2 – коефіцієнти дихання підтримки, мг/(мг·сут);

$\psi_Q \varphi_Q$ - волога й температурна функції дихання.

Вплив режиму зволоження на утворення нових тканин рослини здійснюється через два канали: при недоліку вологи в ґрунті – через вустично-катикулярний опір потоку CO_2 , при надлишку – через коефіцієнт перезволоження.

Азотний режим впливає на фотосинтез і ріст у моделі через величину фотохімічного опору фотосинтезу.

У моделі А. Л. М. Ван Віка й Р.А. Федеса моделюється виростання бульб і поява сходів залежно від середньої температури ґрунту й мінімальної температури початку проростання бульб. Добова величина приросту сухої маси при оптимальному азотному харчуванні розраховується по вираженню:

$$\left(1 - \frac{q}{A \frac{T}{\Delta e}} \right) \left(1 - \frac{q}{q_{pot}} \right) = \xi, \quad (3.1.10)$$

де A – показник максимального споживання води, що визначається польовими експериментами;

T – дійсний рівень транспірації, що дозволяє визначити модель SWATRA;

Δe - дефіцит тиску водяної пари в повітрі;

q_{pot} – потенційний рівень росту, обчислений як показник радіації й площі листка;

ξ - математичний параметр, ($\xi = 0,01$).

У роботі [6] запропонована динамічна модель «погода-урожай», що знаходить все більше застосування для агрометеорологічних завдань. Передбачається, що не міняючи принципову схему моделі, її можна використати для оцінки агрометумов виростання різних сільськогосподарських культур, попередньо визначивши деякі невідомі параметри. У роботі визначалися параметри моделі «погода-урожай» для розрахунків урожаю картоплі. Треба відзначити, що модель для розрахунку врожаю картоплі на цій основі вже створена для умов Нечорноземної зони Росії.

Необхідні для розрахунку врожаю параметри моделі одержують різними способами.

Частина вхідних у модель параметрів визначається безпосередньо для конкретного досвіду або виробничого посіву. До таких відносяться параметри, що характеризують час і місце розрахунку врожаю (широта місця, число днів від 21 березня до початку рахунку, агрогідрологічні константи й т.д.).

Але цілий ряд параметрів моделі може бути отриманий у цей час тільки на підставі експериментального матеріалу по конкретній культурі шляхом рішення або приватних завдань оптимізації, або завдань стохастичної ідентифікації параметрів із залученням всієї моделі.

У дослідженнях визначаються параметри (ростові функції органів рослин картоплі, перетоки асимілятів з різних органів у бульби, частка зеленої площі органів від загальної).

Робота В.В. Набоки ставить за мету визначити параметри динамічної моделі «погода-урожай» і пристосувати її для розрахунку кількісної оцінки

агromетeоролoгiчних умoв фoрмування вpoжaю кaртoплі в умoвaх Зaхiднoгo Сибіру.

Значення деяких параметрів узяті з літературних джерел або визначаються для конкретного розрахунку. Однак цілий ряд параметрів моделі може бути оцінений тільки на підставі експериментальних даних шляхом рішення завдань оптимізації.

Остання група параметрів включає: 1) параметри біологічних функцій (ростові функції органів рослин, функції втрат, функції пожовтіння листків, функції розподілу коріння, функції потоку «материнський бульба-наземна частина рослини»); 2) параметри блоку розрахунку вологості ґрунту (константи z_r й q_r для розрахунку функції розподілу коріння по шарах ґрунту, кардинальне значення гідравлічної провідності насиченого ґрунту K_0 , коефіцієнт, що визначає ефективну зволоженість ґрунту при рясних опадах AW); 3) параметри, відповідальні за розрахунок фотосинтезу (кут нахилу світлової кривої фотосинтезу α , константа для розрахунку вустичного опору потоку CO_2).

За допомогою моделі BACROS можна визначити рівень росту й розвитку сухих речовин у врожаї при оптимальних запасах води й живильних речовин без обліку бур'янів, а також шкідників і хвороб.

Було проведено детальне вивчення процесів фотосинтетичної продуктивності, які в наслідку були представлені схематично.

Розрахунок показників фотосинтетичної продуктивності був досягнутий за допомогою показників сонячної радіації, площі листків й їхніх оптичних властивостей.

Для розрахунку дихання були використані наступні показники: біомаса, фенологія й хімічний склад, поточна швидкість росту й температура рослин.

Транспірація визначається за допомогою методу теплового балансу рослин. Розглядається, що ріст залежить від поточної забезпеченості асимілятами їхніх резервів і температури.

Модель РОТАТО має аналоги в природі й характеризується високим рівнем фізіологічної й морфологічної деталізації.

У моделі враховується ріст і розвиток всіх головних органів рослини при оптимальному запасі води й живильних речовин без обліку бур'янів, шкідників і хвороб.

Часовий крок моделі - година.

Клімат ґрунту й рослини описуються вхідною інформацією. Транспірація й вологість ґрунту визначаються через зміни вмісту води в рослині.

Швидкість зміни асимілятів у рослині розраховується через фотосинтез, дихання і швидкість росту органів і швидкість мобілізації з відповідних органів: приріст сухої речовини розподілений між коріннями, листками й іншими органами як функція фенологічного розвитку рослин.

3.2 Продукційний процес рослин (ППР)

Продукційний процес рослин (ППР) - це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і ріст, у ході яких відбувається формування врожаю. ППР залежить від умов зовнішнього середовища й сам перетворює середовище, в основному через архітекtonіку, газообмін і транспірацію фітоценозу.

Рослини, поглинаючи листками з атмосфери CO_2 і кореневою системою воду із ґрунту, створюють у процесі фотосинтезу під впливом енергії сонячної радіації органічна речовина у вигляді асимілятів. Одночасно відбувається транспірація, що відповідальна за постачання рослин водою й елементами мінерального харчування й за регуляцію теплового режиму рослин. Залежно від інтенсивності ФАР, водного й температурного режиму, швидкості вітру, концентрації CO_2 у повітрі, родючості ґрунту й видових

особливостей рослин процес фотосинтезу може йти з більшою або меншою швидкістю.

Другий фундаментальний процес - дихання забезпечує постачання енергією різних біохімічних процеси синтезу, пов'язаних з ростом, побудовою нових структурних елементів рослин і із транспортом речовин, а також підтримка живих структур органів рослин. При цьому витрачається органічна речовина, накопичена в органах рослин.

Третій фундаментальний процес – ріст. Фотосинтез і ріст розглядається як сполучені процеси. Енергетичне забезпечення ростових функцій з боку фотосинтезу є неодмінною умовою росту. Система донорно-акцепторних відносин є основним проявом інтеграції фотосинтезу й росту на рівні цілого організму. Між донором й акцептором формуються тимчасові проміжні фонди асимілятів. Фонди можуть перебувати в кожному органі, але більше мобільні з них, імовірно, перебувають у листках і стеблах. Асиміляти, запасені на більш тривалий період, здебільшого накопичуються в коріннях. В умовах екологічного стресу, коли придушується фотосинтез, величина фондів стає істотним фактором формування врожаю.

Фонди забезпечують часткову автономність функції фотосинтезу й росту. Можливий обмежений ріст без фотосинтезу за умови, що енергетичне постачання відбувається за рахунок запасних субстратів попереднього фотосинтезу. Таким шляхом ростуть проростки, пагони й листки із бруньок дерев. Так відбувається ріст у нічні години й т.д. Налив зерна в зернових культурах і формування бульб у картоплі здійснюється також не тільки за рахунок «свіжих» асимілятів, що утворюються в листках, але й шляхом використання фондів асимілятів. Сучасні експериментальні й теоретичні дослідження Х.А. Молдау (1985), Х.М. Торнли (1982) і ін. дозволили розширити наші знання про добову й онтогенетичної динаміки фондів.

Ріст - це складова частина продукційного процесу, що супроводжується збільшенням маси й розмірів органів, органел і живого організму в цілому.

Найбільш елементарний показник росту фітомаси - це приріст, тобто різниця між сухою фітомасою за певний проміжок часу:

$$\Delta M = M_2 - M_1$$

Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, тому що не враховує хімічний склад фітомаси. Приріст сухої маси відбувається за якийсь часовий інтервал Δt , тому вживається поняття абсолютної швидкості росту:

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad (3.2.1)$$

і відносного приросту:

$$R_r = (M_2 - M_1) / [\bar{M}(t_2 - t_1)] \quad (3.2.2)$$

де $\bar{M}$ - середня суха маса рослини за період $t_2 - t_1$.

3.3 Моделювання основних складових продукційного процесу рослин

Інтенсивність фотосинтезу кожного з фотосинтезуючих органів (листіків і стебел) описується за допомогою формули з урахуванням впливу на фотосинтез фази розвитку рослин, температурного режиму й вологозабезпеченості посіву, а також забезпеченості рослин елементами мінерального харчування [20]:

$$\frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_{pot}^i K_{NPK}} + \frac{1}{a_c c_0} + \frac{1}{a_\phi^i n^i}} \min \left\{ a_\phi^i, \psi_\phi^i, \frac{E^j}{E_0^j} \right\}, \quad (3.3.1)$$

де $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ - інтенсивність фотосинтезу;

Φ_{pot} - інтенсивність потенційного фотосинтезу;

C_o - концентрація CO_2 у повітрі;

a_ϕ - нахил світлової кривої фотосинтезу;

Π - поглинена і-м органом фотосинтетично активна радіація;

α_ϕ - онтогенетична крива фотосинтезу;

ψ_ϕ - температурна крива фотосинтезу;

E - сумарне випаровування;

E_o - випаровуваність;

J - часовий крок моделі;

K_{NPK} - коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального харчування, що розраховується за допомогою принципу Лібіха з розрахунком функцій забезпеченості азотом (N), фосфором (P) і калієм (K):

$$K_{NPK} = \min \{K_N, K_P, K_K\}, \quad (3.3.2)$$

Температурна крива фотосинтезу апроксимована, згідно [2], вираженням:

$$T_d^j = 0.2 \frac{T_d^j - T_{do}}{T_{dopt} - T_{do}} \left[6 - \left(\frac{T_d^j - T_{do}}{T_{dopt} - T_{do}} \right) \right], \quad (3.3.3)$$

де T_d - середньоденна температура повітря, $^{\circ}C$;

T_{do} і T_{opt} – відповідно гранична й оптимальна температура повітря для фотосинтезу, $^{\circ}C$.

У динамічних моделях продукційного процесу рослин зміни інтенсивності фотосинтезу в онтогенезі не враховувалися або враховувалися через емпіричні коефіцієнти. Фотосинтетична активність листків різна на різних етапах онтогенезу окремого листка й рослини в цілому.

Фотосинтетичний апарат у молодих листків, що формуються, будь-якого ярусу сформований ще не повністю й не забезпечує високої інтенсивності фотосинтезу. Цією здатністю він володіє тільки в зрілих функціонуючих листків. В онтогенезі цілої рослини найменшою інтенсивністю фотосинтезу володіють листки у фазі сходів, коли анатомічна структура не забезпечує оптимуму фотосинтетичної активності. Листки, які є фотосинтетично активними в більше пізні фази онтогенезу, відрізняються структурними й фізіологічними характеристиками, оптимальними для їхньої фотосинтетичної активності. Це листки середнього ярусу. Така різноякісність листків по ярусах визначається неодноразовістю їхньої появи й тим, що їхній розвиток пов'язаний з розвитком рослини в цілому.

Зміна фотосинтезу в онтогенезі враховано через функцію, що описує інтенсивність фотосинтезу i -го органа залежно від фізіологічного віку рослини. Ця функція названа «онтогенетичної кривої фотосинтезу».

$$a_{\phi i}^j = \exp \left[-0.01 q_i \left(\sum T^j - \sum T_{1i} \right)^2 \right], \quad (3.3.4)$$

у якому параметр q_i розраховується за формулою:

$$q_i = \frac{-100 I n a_{\phi i}^o}{\sum T_{1i}}, \quad (3.3.5)$$

де $\alpha_{\phi i}^o$ - характеризує початкову інтенсивність фотосинтезу стосовно максимального;

$\sum T_{1i}$ - сума ефективних температур, що накопичилася від сходів до настання фази розвитку рослин, у яку спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу i -го органа, $^{\circ}\text{C}$.

Характерна особливість картоплі полягає в тому, що основна маса запасних речовин материнської бульби використовується рослиною в процесі

вегетації й значно менша частка розходиться в період проростання. Таким чином, материнська бульба є додатковим джерелом вуглеводів для росту рослини, крім асиміляції CO_2 при фотосинтезі.

Перетікання запасних речовин в органи молодшої рослини в першому наближенні можна записати пропорційним запасам живильних речовин материнської бульби:

$$\Delta P^j / \Delta t = \chi^j m_q^j, \quad (3.3.6)$$

де $\Delta P^j / \Delta t$ - швидкість перетоку вуглеводів з материнської бульби;

χ - коефіцієнт, що характеризує швидкість перетоку;

m_q - запаси живильних речовин материнської бульби.

Розрахунок перетоку живильних речовин з материнської бульби в органи молодшої рослини ведеться по формулі (3.3.6). У цій формулі параметр χ характеризує швидкість перетоку. Апроксимуюче вираження для оцінки цього параметра як функції часу отримано за експериментальними даними:

$$\chi^j = \frac{0.035}{9 \cdot 10^{-3} \sum T^j + 1}, \quad (3.3.7)$$

Другою особливістю рослини картоплі є те, що темнова фіксація CO_2 грає досить істотну роль у вуглеводному балансі. Нефотосинтетична фіксація CO_2 властива не тільки картоплі, а практично всім рослинам, і питання про долю її участі в підтримці вуглецевого й енергетичного балансу рослини є спірним. На ранніх фазах розвитку нічна фіксація CO_2 може становити 15-20% фотосинтезу о півдні.

Інтенсивність гетеротрофної фіксації приймається пропорційною фотосинтезу з урахуванням впливу температури повітря в темний час доби:

$$\frac{\Delta S^j}{\Delta t} = \varepsilon \omega^j \frac{\Delta \phi^j}{\Delta t} \psi_s^j, \quad (3.3.8)$$

де $\Delta S / \Delta t$ - інтенсивність гетеротрофної фіксації CO_2 ;

ω - коефіцієнт, що характеризує співвідношення фотосинтетичної й темної фіксації в онтогенезі;

ψ_s - температурна крива нічної фіксації CO_2 .

Дихання росту розглядається пропорційним фотосинтезу посіву:

$$R_G^j = C_G \phi^j, \quad (3.3.9)$$

де R_G – інтенсивність дихання росту, $\text{м} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$;

C_G – коефіцієнт, який характеризує витрати, пов'язані з ростом, безрозмірний.

Дихання підтримки структур пропорційно сухій біомасі посіву й залежить від температури й віку рослини:

$$R_m^j = C_m M^j a_R^j \phi_R^j, \quad (3.3.10)$$

де R_m – інтенсивність дихання підтримки;

M – суха біомаса посіву, $\text{м} \cdot \text{м}^{-2}$;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки, $\text{г}_{\text{св}} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$;

a_R – параметр, що характеризує вплив фази онтогенезу на швидкість дихання, безрозмірний;

ϕ_R - функція впливу температури повітря на дихання, безрозмірний.

Облік зміни інтенсивності дихання в онтогенезі досить істотний, оскільки рівень дихання газообміну відображає, поряд з біохімічними

особливостями протопласта, і ряд анатомо-морфологічних властивостей органа або тканини. Біохімічна активність і структура тканин піддається досить сильним змінам, пов'язаним з віком і розвитком рослини, внаслідок чого значно міняється в онтогенезі й дихання. Найбільше інтенсивно дихають молоді тканини, що ростуть, при старінні рівень дихального метаболізму падає.

В прийнятій структурі моделі дихання оцінюється в цілому органі (наприклад, по всіх листках) і в цьому випадку функція має вигляд одновершинної кривої. Ця функція названа онтогенетичною кривою дихання [19].

Характер залежності дихання від температури виражається звичайно за допомогою коефіцієнта Q_{10} .

Інший вид запису температурної функції наведений у роботах і використаний у вигляді:

$$\varphi_R = Q_{10}^{0.1(T_A - T_{Ao})}, \quad (3.3.11)$$

де Q_{10} – температурний коефіцієнт дихання, безрозмірний;

T_A – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

T_{Ao} – температура, при якій береться початкове (для розрахунку) значення дихання, $^{\circ}\text{C}$.

У випадку якщо ставитися завдання оцінки загального приросту біомаси в динаміці, це можна зробити по різниці між фотосинтезом і диханням. Однак вирішальне значення при моделюванні процесу формування врожаю належить оцінці приросту біомаси окремих органів, у тому числі й репродуктивних, тобто розподіл асимілятів між органами.

При описі швидкості змін сухої біомаси окремих органів на підставі [20] прийнята наступна система рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_i^j (\phi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{Gp}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j C_{mi} \phi_R^j + \nu_i^j) \tilde{m}_i^j}{1 + C_{Gi}} \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} &= \frac{\beta_p^j (\phi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{Gp}} - \frac{(\alpha_{Ri}^j C_{mi} \phi_R^j + \sum_i^{l,s,r} \nu_i^j \tilde{m}_i^j)}{1 + C_{Gi}} \end{aligned} \right\}, \quad (3.3.12)$$

де $\Delta m_i / \Delta t$ - швидкість росту і-го окремого органа;

$\Delta m_p / \Delta t$ - швидкість росту бульб;

β_i - ростова функція вегетативного періоду;

C_G – коефіцієнт дихання росту;

α_R - онтогенетична крива дихання;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки;

ϕ_R - температурна крива дихання;

ν - ростова функція репродуктивного періоду;

m_i – функціонуюча біомаса і-го вегетативного органа.

У цьому рівнянні дихання росту й дихання підтримки структур окремо не обчислюється, а визначається за допомогою коефіцієнтів C_G , C_m , ϕ_R , α_R .

У період активного росту вся біомаса є функціонуючою, отже, приріст загальної й функціонуючої біомаси однаковий:

$$\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} = \frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \geq 0, \quad (3.3.13)$$

При стресових умовах або природному старінні рослини, коли кількість загальної біомаси знижується, (цей момент визначається на підставі

моделі) внаслідок переваги процесів розпаду над процесами синтезу, кількість функціонуючої біомаси визначається як частка загальної біомаси:

$$-\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} = -\frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{R_{Si}}, \quad (3.3.14)$$

де R_{Si} – параметр, що характеризує частку життєдіяльних структур і рухливих вуглеводів у загальній біомасі органа, безрозмірний.

Розпаду піддаються життєдіяльні структури, які в рослині представлені практично тільки білками. Продукти розпаду білків, а також рухливі вуглеводи пересуваються в репродуктивні органи. Оскільки вміст білка й вуглеводів в органах рослин відомо досить добре, тому й визначення чисельного значення R_{Si} не представляє проблем.

Швидкість зміни площі асимілюючої поверхні і-го органа, як при сприятливих умовах росту й розвитку, і при виникненні стресових умов, а також у період старіння рослин опишемо рівнянням:

$$\frac{\Delta L_i^j}{\Delta t} = \left(\frac{\Delta \tilde{m}_i^j}{\Delta t} \right) \left(\frac{1}{\sigma_i} \right), \quad (3.3.15)$$

де σ_i - питома поверхнева щільність і-го асимілюючого органа.

Розрахунок зміни оптимальних значень температури в часі розраховується за формулою:

$$T_{opt} = 9.085 + 19.572 \cdot \tau^j - 10.689 (\tau^j)^2, \quad (3.3.16)$$

$$\tau = \sum t / \sum t_{n.B.}$$

де T_{opt} – оптимальна температура повітря для фотосинтезу, $^{\circ}\text{C}$;

τ - відносний час, відн. од.;

$\sum t$ - сума ефективних температур вище 10°C з наростаючим підсумком від дати сходів, $^{\circ}\text{C}$;

$\sum t_{n.B.}$ - сума ефективних температур вище 10°C за повний період вегетації картоплі, $^{\circ}\text{C}$.

4. МОДЕЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА

Процес розробки моделей розвитку шкідників можна виділити за аналогією з моделями, що описують вплив гідрометеорологічних умов на продуктивність сільськогосподарських культур, три етапи. Перший етап - описовий. На цьому етапі для встановлення зв'язку між шкідником і факторами середовища відбувається накопичення фактичного матеріалу про особливості їх взаємодії, диференціація теорій, використовуваних для пояснення динаміки популяцій. На другому етапі основна увага приділяється пошуку прямих емпіричних зв'язків між входом і виходом системи шкідник - середовище проживання. В цьому напрямку протягом останніх-20 років найбільш послідовно ведуться дослідження в [10,11]. Як показники, що характеризують шкідника, при такому підході використовуються статистичні дані заселеності шкідниками сільськогосподарських угідь, обробок, чисельності шкідника на певній фазі розвитку. Стан середовища проживання виражається у вигляді місячних, рідше декадних значень метеорологічних величин за попередній і поточний роки. Теоретичною базою моделей, розроблюваних на третьому етапі досліджень, є розвинені в математичній екології уявлення про популяціях - елементарних структурних одиницях екосистем як про динамічних системах, що розвиваються під впливом

внутрішніх і зовнішніх факторів. При цьому під внутрішніми факторами розуміється фізіологічна конституція, спадково закріплена у виду, а під зовнішніми весь комплекс біологічних і абіотичних факторів, що грають для нього роль умов життя. Основним інструментом дослідження динаміки розвитку популяцій, згідно [11], є математичні моделі. При цьому створення математичних моделей будь-якого об'єкта передбачає необхідність виділення найбільш існуючих рис або властивостей об'єкта і подальшого формалізованого їх опису. У задачі моделювання зазвичай присутній два аспекти, перший пов'язаний з самим процесом конструювання моделей, заснованим на використанні як загальних теоретичних, так і конкретних експериментальних даних; другий полягає в дослідженні уже побудованих моделей і поясненні одержуваних на їх основі результатів. Найчастіше прикладні моделі, розроблені для вирішення задач прогнозування розвитку шкідників, оцінюються тільки за одним критерієм - точності. Водночас, як показано в [11], можливість побудови моделей з високою здатністю, може бути досягнуто тільки за умови достатньої їх спільності та реалістичності. Що застосовуються при моделюванні підходи діляться на дві групи: моделювання з використанням ЕОМ і побудова аналітичних моделей. При побудові прикладних моделей переважає перший з названих підходів, що дозволяє, завдяки використанню обчислювальних можливостей ЕОМ, враховувати максимальну кількість факторів і особливостей конкретного об'єкта. Аналітичний підхід, при якому в силу відомих причин число врахованих факторів не може бути достатньо великим, дозволяє отримувати якісну картину поведінки системи і є теоретичною основою для імітаційних моделей. Фундаментальною властивістю, властивим будь-якій популяції і характеризує її здатність до розмноження, є пристосованість. Вона визначається як питома швидкість росту чисельності (N) або як середнє число нащадків, вироблених однією особиною в одиницю часу (t):

$$\omega(t) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dt}, \quad (4.1)$$

У випадку дослідження динаміки не в безперервному, а в дискретному часі пристосованість визначається як відношення її розмірів у послідовні моменти часу:

$$g(k) = \frac{N(k+1)}{N(k)}, \quad (4.2)$$

де g - пристосованість;

k - момент часу ($k = 1, 2, 3 \dots, n$).

Моделювання життєвого циклу шкідника починається з виходу жуків з ґрунту, які перезимували. В якості початку виходу приймається дата стійкого переходу температури повітря через 10^0C . З моменту початку масового виходу імаго з ґрунту і до його закінчення велике значення в динаміці чисельності шкідника відіграють міграції жуків, що визначають швидкість і інтенсивність заселення шкідником посівів картоплі в поточному вегетаційному сезоні. Для оцінки інтенсивності міграцій в цей час використовуються термінові або найбільші значення температури повітря. Інтенсивність і швидкість заселення пропорційні числу днів з сприятливими для польотів жуків умовами. Швидкість дозрівання жуків - добові відсотки розвитку - розраховуються за рівнянням:

$$y^* = \frac{100}{0.22t^2 - 8.738t + 4.1\Delta\tau + 94.6}, \quad (4.3)$$

де - швидкість розвитку в процентах;

t - температура повітря;

$\Delta\tau$ - показник календарного терміну виходу жуків.

В якості початку відкладання яєць приймається дата накопичення суми добових відсотків розвитку, рівний 100 %. При нормальних термінах посадки картоплі, тобто з моменту переходу температури ґрунту на глибині 10 см через 7^0C , сходи з'являються раніше дат початку відкладання яєць жуками масового виходу. У зв'язку з цим терміни їх дозрівання можуть вважатися початком періоду продуктивної яйцекладки. До того часу основна

маса фізіологічно однорідних імаго встигає вийти з ґрунту, розселитися на посадках картоплі поточного року і підготуватися до розмноження. Подальша поведінка жуків і їх розмноження визначається щільністю заселення та погодними умовами. При щільності заселення імаго не вище 2 екз./м² інтенсивність відкладання яєць визначається рівнем температури, вологістю повітря і довжиною дня. В цей час картопляні рослини знаходяться у фазі репродуктивного росту і мають для шкідника максимальну живильну цінність. Сумарна плодючість обчислюється за виразом:

$$\sum F_{np} = \sum_{S_{ov}^*}^{S_{ov}^{**}} \sum_{10} F(t, \tau), \quad (4.4)$$

як сума декадних сум яєць, що відкладаються за період продуктивної яйцекладки. Поняття продуктивної яйцекладки вводиться через наступні міркування. Самки колорадського жука відкладають яйця протягом досить тривалого періоду часу, проте не з усіх яйцекладок можуть розвиватися імаго, здатні до перезимівлі. Тому частина яєць, в ряді випадків досить значна, не грає жодної ролі в збільшенні чисельності шкідника в наступному році. Отже, продуктивна плодючість завжди менше загальної. Для обліку цієї особливості і введені межі. Межа залежить від терміну виходу жуків, які перезимували і тривалості їх дозрівання. Межа є показником кінця періоду продуктивної яйцекладки і визначається як дата тієї яйцекладки, з якої імаго з'являються до переходу восени температури повітря через 12 °С. В цьому випадку період предпаузного харчування становить 10-15 днів і частина імаго зможе підготуватися до перезимівлі. Для визначення числа особин, котрі гинули за період їх розвитку від яєць до імаго обчислюють середня кількість опадів, що випадають за один день періоду від початку масової яйцекладки (S_{ov}^*) до переходу температури повітря через 12°С восени. Середньо добова кількість опадів множиться на середню тривалість розвитку генерації і обчислюється середній відсоток загибелі μ_1 :

$$\mu_1 = 34.54 \ln Q + 20.29 \ln \sum W - 141.0, \quad (4.5)$$

де Q - середня тривалість розвитку генерації;

$\sum W$ - сума опадів за період.

Загибель імаго за період зимівлі, що залежить від фізіологічного їх стану, визначається за рівнянням:

$$\mu_2 = 74 - 5.6(t - 17.3), \quad (4.6)$$

де μ_2 - відсоток загибелі;

t - середня температура періоду додаткового харчування жуків в межах від 14 до 20,5 °C.

З рівняння випливає що відсоток загибелі може змінюватися від 98 до 57. На заключному етапі розрахунків проводиться обчислення за виразом:

$$\frac{N_{t+1}}{N_t} = K = \int_{t_0}^{t_1} F(x_i) d\tau \left(1 - \frac{\mu_1(C)}{100}\right) \left(1 - \frac{\mu_2(z)}{100}\right) i, \quad (4.7)$$

де N_{t+1} і N_t - чисельність популяції шкідника в два послідовних моменту розмноження;

$\int_{t_0}^{t_1} F(x_i) d\tau$ - середня сумарна плодючість однієї самки як функція

метеорологічних факторів і тривалості розвитку генерації;

$\mu_1(C)$ - середній сумарний відсоток загибелі особин за період розвитку генерації як функція погодних умов;

$\mu_2(t)$ - сумарний відсоток загибелі імаго за період зимівлі як функція фізіологічного їх стану;

i - статевий індекс.

В цьому випадку показник K , можна розглядати як екологічний коефіцієнт розмноження чисельно рівний пристосованості популяції в дискретному часі. Вираз (4.7) являє собою узагальнену модель для опису змін чисельності шкідника під впливом коливань метеорологічних умов в

якій структурно об'єднані характеристики динаміки - розмноження і загибель - також у зв'язку з метеорологічними умовами.

4.1 Моделювання розвитку популяції колорадського жука та його вплив на продуктивність рослин

Колорадський жук зимує в стадії імаго. При зимівлі шкідника найбільш сприятливі умови складатимуться в легких за механічним складом ґрунтах. В цих умовах загибель особин буде найменшою. Для важких ґрунтів характерна більш висока загибель жуків за період зимівлі. Слід зазначити що основна загибель жуків спостерігається в Україні не в період настання низьких негативних температур [24].

В роботі [7] зазначається що навіть при температурі -13°C на глибині зимівлі жуків не спостерігається підвищеної їх загибелі. Найбільша кількість жуків гине в пізній осінній та ранній весняний періоди. Весняний вихід жуків з ґрунту спостерігається протягом тривалого періоду. Незважаючи на розтягнутість цього періоду в часі основна маса жуків виходить з ґрунту за порівняно короткий період часу. Початок і інтенсивність весняного виходу жуків з ґрунту, які перезимували залежить від багатьох факторів і особливо від погодних умов. У південних районах нашої країни він відзначався в березні на початку квітня, в центральних районах - в квітні-початку травня а в більш північних районах - ще пізніше - в травні-червні. В одній і тій же точці терміни появи жуків, які перезимували в різні роки також змінюється в значних межах. Початок стійкого виходу збігається з встановленням середньодобової температури повітря близькою до 10°C . Для встановлення тривалості періоду дозрівання жуків, які перезимували (період від виходу до початку яйцекладки) використовується наступне рівняння:

$$y = 94.6 + 0.22t^2 - 8.738t + 14.5\Delta\tau, \quad (4.1.1)$$

$$R = 0.92, S_y = \pm 3,4 \text{ дні},$$

де y - тривалість періоду дозрівання жуків, які перезимували дні;

t - середня за період температура повітря;

$\Delta\tau$ - показник календарного терміну виходу жуків з ґрунту у вигляді різниці в годинах між максимальною довжиною дня (21 червня) і довжиною дня на дату виходу жуків з ґрунту;

R - коефіцієнт множинної кореляції;

S_y - помилка рівняння.

Поведінка жуків, після виходу з ґрунту залежить від їх фізіологічного стану і умов навколишнього середовища. Показником фізіологічного стану є термін виходу жуків з ґрунту [24]. До того як приступити до харчування і розмноженню жуки повинні повністю відновити свій фізіологічний стан властивий періоду активної життєдіяльності. Тривалість відновного періоду залежить від температури і вологості ґрунту в якій зимували жуки [17]. За даними [17] весняний відновний період триває до двох-трьох тижнів. В цей час в організмі імаго відновлюється водний баланс і підвищується тканинний обмін. Період від виходу жуків з ґрунту до початку відкладання яєць називається періодом дозрівання жуків, які перезимували. Температура і вологість впливають на тривалість періоду дозрівання в звичайному для біологічних процесів напрямку - весняні дощі та тепло скорочують його холод і посуха - подовжують [17]. В [22] звернуто увагу на залежність тривалості періоду дозрівання від календарного терміну виходу жуків з ґрунту - чим раніше жуки з'являються на поверхні ґрунту тим через більший термін вони приступають до харчування і яйцекладці і навпаки. Моделювання розвитку популяції колорадського жука проведемо за методом

[11]. Розрахунок декадної плодючості самок колорадського жука ведеться за наступним рівнянням з урахуванням температурних меж яйцекладки:

$$K_{pest}^j = 4.87TS1_j + 156.7\tau_q^j - 4.77(\tau_q^j)^2 - 1313, \quad (4.1.2)$$

K_{pest} - кількість шкідника;

$TS1$ - середня декадна температура повітря;

τ_q - тривалість світлого часу доби.

Для визначення числа особин колорадського жука котрі гинули за період їх розвитку від яєць до імаго обчислюється середня кількість опадів що випадають за один день періоду від початку масової яйцекладки до переходу температури повітря через 12 °С восени. Середня добова кількість опадів множиться на середню тривалість розвитку генерації і за рівнянням обчислюється середній відсоток загибелі:

$$\mu_1 = 34.54 \ln Q + 20.29 \ln \sum W - 141.0 \quad (4.1.3)$$

$$R = 0.89, S\mu_1 = \pm 5\%$$

де μ_1 - відсоток загибелі особин за середній період;

Q - середня тривалість розвитку генерації;

$\sum W$ - сума опадів за середній період.

Загибель імаго за період зимівлі що залежить від їхнього фізіологічного стану визначається за рівнянням:

$$\mu_2 = 74 - 5.6(t - 17.3), \quad (4.1.4)$$

де μ_2 - відсоток загибелі;

t - середня температура за період додаткового живлення жуків в межах від 14 до 20,5 °С.

З рівняння (4.1.4) випливає, що відсоток загибелі може змінюватися від 0,8 до 57. Тривалість розвитку колорадського жука залежить від температури повітря і її можна визначити за рівнянням:

$$n_{dev} = 0.213(TS1)^2 - 9.77 \cdot TS1 + 126.6, \quad (4.1.5)$$

$$n_{pu} = 14 - 25^0 C,$$

де n_{dev} - тривалість розвитку шкідника;

$TS1$ - середня декадна температура повітря.

При моделюванні фотосинтезу вплив колорадського жука на цей процес може бути введено через зміну параметрів формули розрахунку фотосинтезу:

$$\frac{\Delta \Phi_{pest}}{\Delta t} = \frac{1}{\frac{1}{\Phi_{pot}^j K_{NPK} (1 - \rho_{pest})} + \frac{1}{\alpha_c C_0 (1 - \rho_{pest})} + \frac{1}{\alpha_\phi^i P^i (1 - \rho_{pest})}} \times$$

$$\times \min \left\{ \alpha_\phi^i, \psi_\phi^j, \frac{E^0}{E_0^j} \right\} \quad (4.1.6)$$

де $\frac{\Delta \Phi_{pest}}{\Delta t}$ - інтенсивність фотосинтезу листя ураженої рослини;

ρ_{pest} - частка пошкодженої тканини рослини.

Зміна частки пошкодженої шкідниками тканини рослини є по суті кількістю листової поверхні, якою харчуються шкідники і її можна визначити за виразом:

$$\frac{\Delta \rho_{pest}^j}{\Delta t} = \frac{\Delta L_{pest}^j}{\Delta t} \cdot \frac{1}{L^j}, \quad (4.1.7)$$

де $\frac{\Delta L_{pest}}{\Delta t}$ - площа листової поверхні, якою харчуються шкідники;

L - площа зеленої функціонуючої листової поверхні.

Площа листової поверхні, якою харчуються шкідники визначається кількістю шкідників та їх харчової потребою. Її можна описати виразом:

$$\frac{\Delta L_{pest}^j}{\Delta t} = \frac{K_{pest}^j \cdot F_{req}^j}{\sigma_1}, \quad (4.1.8)$$

де K_{pest} - кількість колорадських жуків;

F_{req} - харчова потреба одного шкідника;

σ_1 - питома поверхнева щільність листків.

Пошкодження рослин шкідниками призводить до зниження як площі листової поверхні так і загальної біомаси листя. Рівняння для розрахунку біомаси листя ураженої шкідником рослини можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{\Delta m_{i(pest)}^j}{\Delta t} = \frac{\beta_i^j (\Phi^j + P^j + S^j)}{1 + C_{G1}} - \frac{\alpha_{R1}^j (C_{m1} \varphi_R^j + g_i^j) \tilde{m}_i^j}{1 + C_{G1}} - K_{pest}^j \cdot F_{req}^j, \quad (4.1.9)$$

Рівняння (4.1.9) дозволяє визначити динаміку біомаси листя рослин картоплі при розвитку популяції колорадського жука.

4.2 Параметри блоку розвитку шкідника

Втрати врожаю від шкідників та хвороб повсюдні і значні. У багатьох роботах [5,11] присвячених вивченню методів боротьби з шкідниками і хворобами рослин приділяється увага моделюванню динаміки популяцій відповідних організмів однак при цьому процеси росту і розвитку самих рослин залишаються за межами таких досліджень. Щоб правильно оцінити завдані посівам збитки необхідно стикувати моделі хвороб і шкідників і моделі зростання сільськогосподарських культур. В динамічних моделях формування врожаю цей важливий аспект досі не розглядався. З шкідників посівам картоплі найбільшої шкоди може заподіяти популяція колорадського жука.

Жук з'являється з початку сходів картоплі і поїдає молоді рослини потім відкладає яйця з яких виходять незабаром дуже ненажерливі личинки.

Таблиця 4.1 - Основні параметри блоку росту

Блок	Параметр	Одиниця виміру	Чисельні значення
Росту	T_{no} – порогова температура нічний фіксації CO_2	$^{\circ}C$	0
	$T_{n, opt}$ – оптимальна середня нічна температура повітря для темнового засвоєння CO_2	$^{\circ}C$	14
	t_1 – сума температур для розрахунку ростової функції листя	$^{\circ}C$	Полісся 135 Лісостеп 173 Степ 200
	t_s – сума температур для розрахунку ростової функції стебел	$^{\circ}C$	Полісся 236 Лісостеп 302 Степ 350
	t_r – сума температур для розрахунку ростової функції коренів	$^{\circ}C$	Полісся 270 Лісостеп 346 Степ 400
	t_{p1} – сума температур для розрахунку ростової функції бульб	$^{\circ}C$	Полісся 506 Лісостеп 648 Степ 750
	t_{p2} – сума температур для розрахунку початку зростання бульб	$^{\circ}C$	Полісся 236 Лісостеп 302 Степ 350
	C_1 – частка листя в загальній масі	безрозмірна	0,37
	C_s – частка стебел в загальній масі	безрозмірна	0,34
	C_p – частка бульб в загальній масі	безрозмірна	0,27
	C_r – частка коренів у загальній масі	безрозмірна	0,02
	R_s – параметр що характеризує частку життєдіяльних структур і рухливих вуглеводів	безрозмірний	0,30
	U_i – питома поверхнева щільність листя	г/м ²	35

Як зазначено в роботі [11] широке поширення колорадського жука пов'язано з високою пристосованістю шкідника до існування при значному

діапазоні мінливості температури і вологості середовища проживання. При цьому саме режимом температури і вологості значною мірою визначається рівень чисельності шкідника.

Масовий вихід жуків відбувається при середній добовій температурі повітря 14-15 °С. Нижнім термічним порогом харчування жуків є температура 10 °С. Починаючи з цієї температури і до 17 °С розвиток колорадського жука йде при значній смертності. Оптимальна температура для розвитку як личинок так і дорослих жуків 24-25 °С підвищена вологість ґрунту в період розвитку лялечок негативно позначається на їх виживаності. В перезволожених ґрунтах спостерігається висока (до 90 %) загибель лялечок і молодих жуків. Оптимальні умови для розвитку лялечок і молодих жуків створюються при вологості ґрунту близько 30 %. Чисельні значення параметрів блоку розвитку шкідника приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Основні параметри блоку розвитку шкідника

Блок	Параметр	Одиниця виміру	Чисельні значення
Розвитку шкідника	Частка самок в популяції жуків	безрозмірна	0,5
	Середня температура повітря за 10-денний період після дати виходу жуків з ґрунту	°С	17,3
	F _{req} - харчова потреба одного шкідника	г/добу	0,002

Відомо що одна личинка за період свого розвитку з'їдає до 30 см² листової поверхні або 700-800 мг зеленої маси картоплі. Харчову потребу одного шкідника можна визначити за цим показником. На основі цих даних харчова потреба дорослого жука – імаго, ця величина прийнята рівною 0,002 г/добу. Частка самок в популяції жуків приймається рівної 0,5. Середня температура повітря за 10-денний період після дати масового виходу жуків з ґрунту дорівнює 17,3 °С.

5. ВПЛИВ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА РОЗВИТОК ПОПУЛЯЦІЇ КОЛОРАДСЬКОГО ЖУКА І ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КАРТОПЛІ В СУМСЬКІЙ ОБЛАСТІ

В життєвому циклі картоплі в агрометеорології враховується чотири з п'яти основних фізіологічних етапів: 1) від посадки до сходів - період формування коренів і пагонів тільки за рахунок запасних речовин материнської бульби; 2) від сходів до початку зав'язування бульб - період росту листя стебел і коренів переважно за рахунок фотосинтезу; 3) період росту бульб частково збігається з триваючим зростанням гички; 4) період відмирання бадилля і посиленого відкладення запасних поживних речовин в бульбах.

Згідно «Наставляння гідрометеорологічним станціям і постам» [18] загальний стан посівів оцінюється в порівнянні зі станом рослин в роки високих врожаїв враховується потужність рослин рівномірність посівів ступінь їх пошкодження несприятливими метеорологічними умовами шкідниками і хворобами. Визначається густота (число кущів на гектар) і висота рослин, ведуться спостереження за приростом гички і бульб і величиною біологічного врожаю. Така система спостережень дозволяє отримувати інформацію необхідну для характеристики процесу розвитку посівів та формування врожаю в залежності від агрометеорологічних умов. Стосовно до картоплі велика робота в цьому напрямку була зроблена рядом дослідників, що дозволило розробити методи оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю картоплі, прогнозу фаз розвитку та врожайності. В даній магістерській роботі були проведені чисельні експерименти з оцінки впливу агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області. Моделювалися посушливі, вологі і середньо багаторічні умови. Посушливі умови моделювалися при низьких опадах і високій температурі. Вологі умови

моделювалися при високих опадах і низької температури. Дана порівняльна характеристика впливу посушливих і вологих умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в порівнянні зі середньо багаторічними умовами. В магістерській роботі необхідно оцінити вплив популяції колорадського жука на формування площі листя картоплі на біомасу окремих органів рослини картоплі і формування врожайності картоплі в цілому в Сумській області. Вивчити плодючість колорадського жука, час початку яйцекладки, тривалість періоду дозрівання жуків. Оцінити вплив вологих і посушливих умов на плодючість колорадського жука і дати порівняльну оцінку з середньо багаторічними умовами.

5.1 Формування врожайності картоплі і розвиток популяції колорадського жука при середньобагаторічних умовах

У цій главі розглянемо як відбувався розвиток біомаси окремих органів рослини картоплі і яка була врожайність картоплі та як відбувався розвиток популяції колорадського жука в Сумській області при середньобагаторічних умовах. Методика оцінки стану посадок картоплі заснована на тому, що динаміка росту листової поверхні визначає процес формування врожаю. Найбільш сприятливим для отримання високих врожаїв є такий тип динаміки росту листової поверхні при якому її оптимальна площа формується швидко і зберігається протягом вегетаційного періоду в активному стані, а потім площа листя значно зменшується або вона повністю відмирає віддаючи пластичні речовини на формування бульб.

Розглянемо динаміку площі листя картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області. На рисунку 5.1.1 представлена динаміка площі листя картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області. З рисунка 5.1.1 видно, що площа листя картоплі при середньо багаторічних умовах почала свій розвиток з першої декади вегетації і дорівнювала $0,19 \text{ м}^2/\text{м}^2$, потім площа листя почала інтенсивно збільшуватися і максимум площі

листя зазначається в п'яту декаду вегетації і становить $2,99 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Потім площа листя картоплі починає знижуватися і знижується до кінця вегетації.

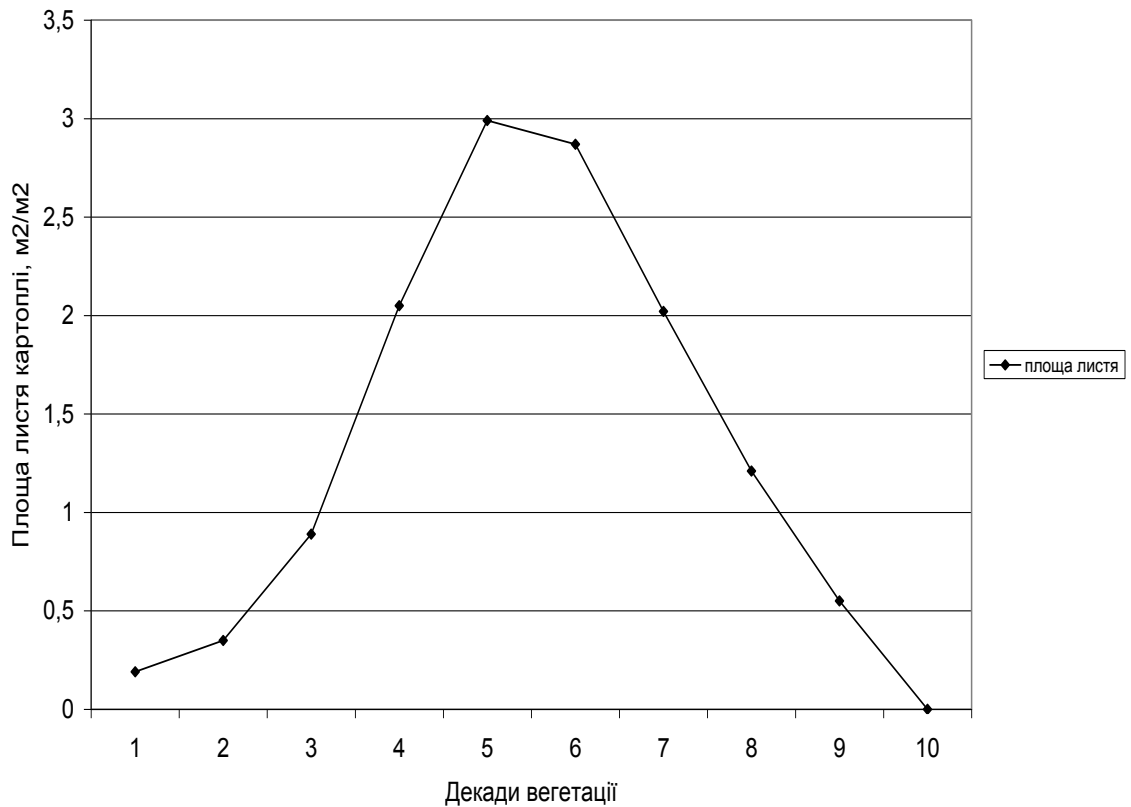


Рисунок 5.1.1 - Динаміка площі листя картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області

Дослідженнями залежності динаміки накопичення врожаю картоплі від агрометеорологічних умов встановлено, що зростання гички і бульб відчуває постійні коливання і при встановленні несприятливих умов різко знижується і навіть зупиняється. Це може спостерігатися при несприятливих погодних умовах нестачі елементів живлення пошкодженні посівів хворобами і шкідниками накопиченні в ґрунті шкідливих для картоплі з'єднань різних елементів, сильному ущільненні ґрунту.

На рисунку 5.1.2 представлена суха біомаса бульб картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області. Суха біомаса бульб картоплі при середньобагаторічних умовах почала збільшуватися з шостої

декади вегетації і склала $93,1 \text{ г/м}^2$. Надалі відбувалося збільшення сухої біомаси бульб картоплі до кінця вегетації. До десятої декади вегетації суха біомаса бульб картоплі збільшилася і стала рівною $583,7 \text{ г/м}^2$. Це говорить про те, що при середньобагаторічних умовах суха біомаса бульб картоплі розвивалася нормально, були встановлені сприятливі погодні умови в ґрунті в достатній кількості були необхідні елементи живлення, не відбувалося пошкодження посівів хворобами і шкідниками.

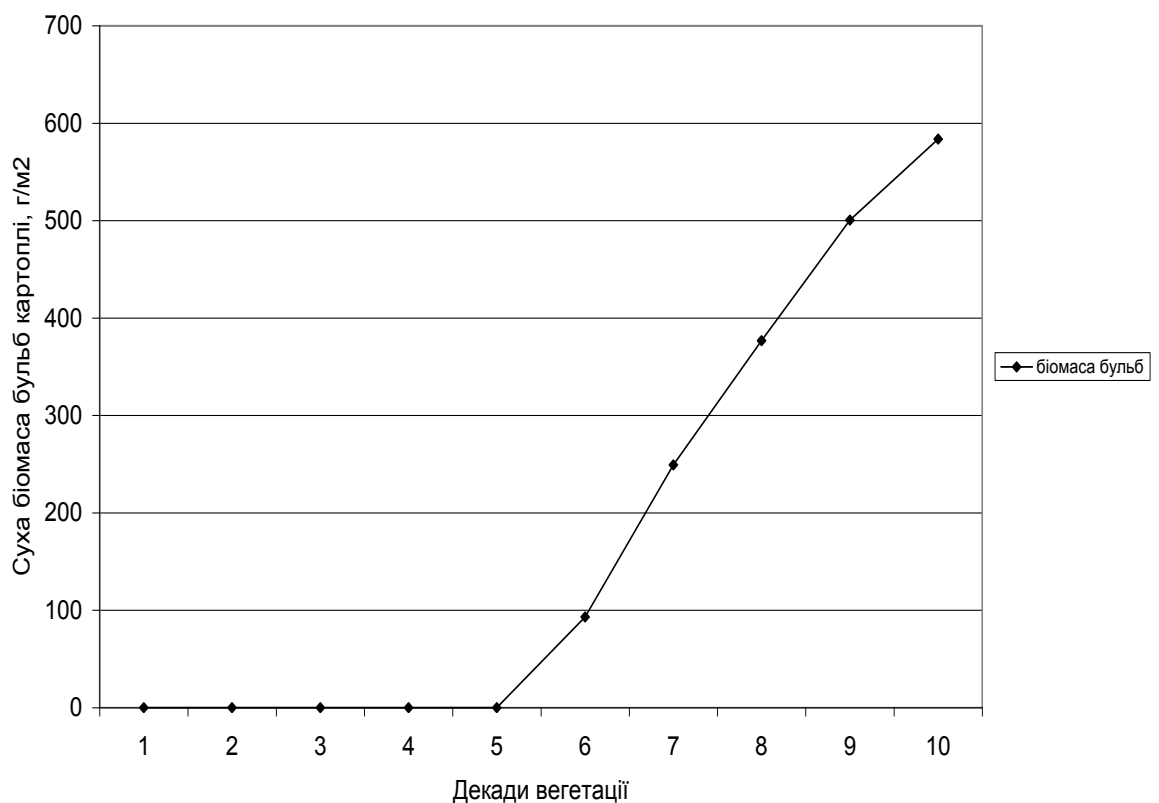


Рисунок 5.1.2 – Суха біомаса бульб картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області

На рисунку 5.1.3 представлена суха біомаса цілої рослини картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області. З рисунка 5.1.3 видно, що суха біомаса цілої рослини картоплі збільшувалася з початку вегетації і досягла максимуму в кінці вегетації, в десятій декаді і була рівною 583 г/м^2 . Це говорить про те, що при середньобагаторічних умовах суха біомаса цілої

рослини картоплі розвивалася нормально, були встановлені сприятливі погодні умови в ґрунті в достатній кількості були необхідні елементи живлення, не відбувалося пошкодження посівів хворобами і шкідниками.

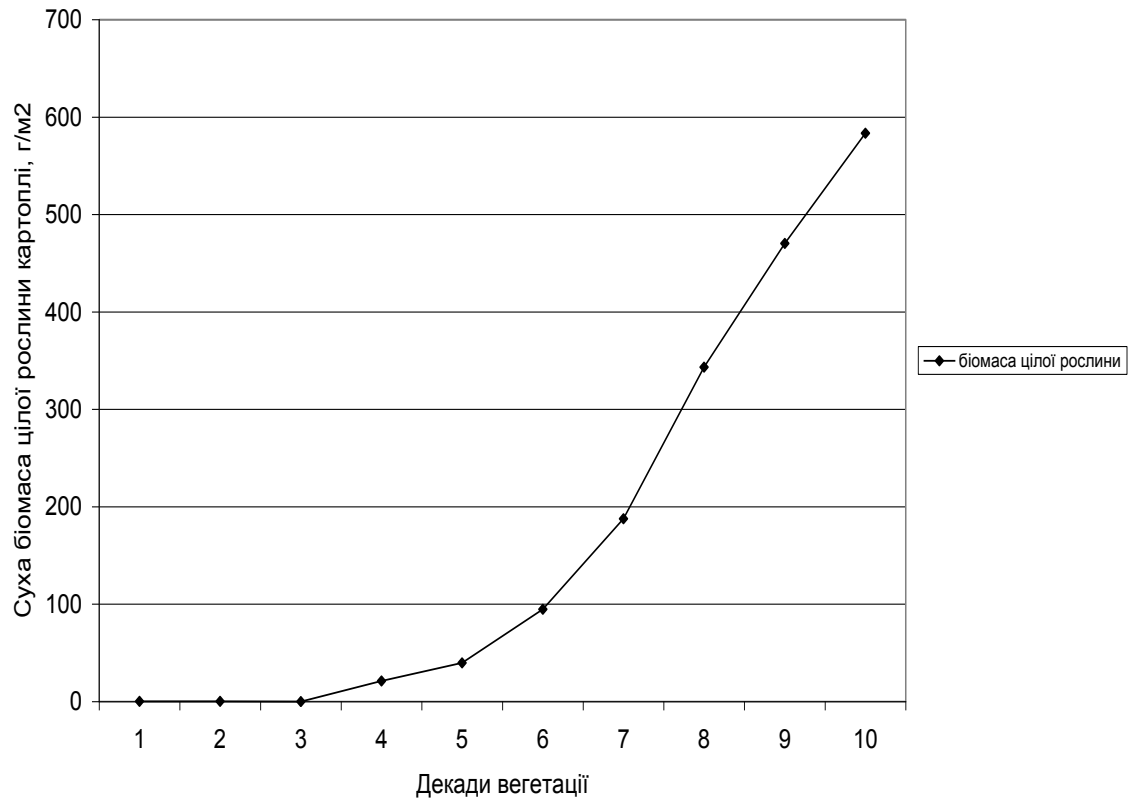


Рисунок 5.1.3 – Суха біомаса цілої рослини картоплі при середньобагаторічних умовах в Сумській області

Колорадський жук належить до видів з повним циклом перетворення. Розвиток цих видів супроводжується проходженням чотирьох фаз: яйця, личинки, лялечки та дорослої фази. Протягом свого індивідуального розвитку або онтогенезу комаха проходить два періоди - всередині яйця (ембріональний) і після виходу з яйця (постембріональний). Після виходу з яйця в постембріональний період розвиток колорадського жука протікає з перетворенням однієї фази в іншу а не є простим ростом і збільшенням розмірів тіла. Такий тип онтогенезу отримав назву метаморфоз або розвиток з перетворенням. Термін виходу жуків з ґрунту має важливе біологічне і господарське значення. Залежно від нього значною мірою знаходиться

можливість реалізації самками статевого потенціалу, тривалість періоду активності молодих жуків і інтенсивність відходу їх в діпаузу. У період з якого жуки починають харчуватися, в сонячну теплу погоду, відзначається початок спарювання. Навесні в тих випадках коли запліднення самок мало місце до відходу в діпаузу попереднього вегетаційного сезону останні можуть приступити до відкладання яєць без додаткового спарювання після декількох днів харчування. Найчастіше яйцекладка настає через 3 дні або дещо більше після спарювання, повторні спарювання можуть відбуватися через кожні 2-3 дні. Як і спарювання, відкладання яєць відбувається при сонячній погоді переважно в післяполудневій годині. Залежно від умов середовища і якості їжі самки, які перезимували можуть відкладати яйця від весни до осені. В умовах помірних широт при помірно теплій погоді яйцекладка найбільш інтенсивна в найтепліші місяці - червень та липень. Максимальна плодючість колорадського жука проявляється при температурі 25 °С, так як при більш високій температурі тривалість життя імаго скорочується. Дозрівання яєць в яйцевих трубочках самки відбувається поступово. Самка відкладає їх партіями протягом всього активного життя. Протягом одного дня вона робить не більше однієї яйцекладки, яка містить від 5 до 80 яєць середнє число яєць в одній яйцекладці коливається від 24 до 34. Поведінка молодих жуків поточного сезону окрилення залежить від фізіологічного стану індивідуальних особливостей температури, довжини дня і якості їжі в період після їх виходу з ґрунту. Молоді жуки інтенсивно харчуються з'їдаючи до 300-500 мм² листової поверхні в день. Загальна плодючість самок колорадського жука залежить від кліматичних умов якості їжі і фізіологічного стану самок [10].

На рисунку 5.1.4 представлена декадна плодючість самок колорадського жука при середньобагаторічних умовах в Сумській області.

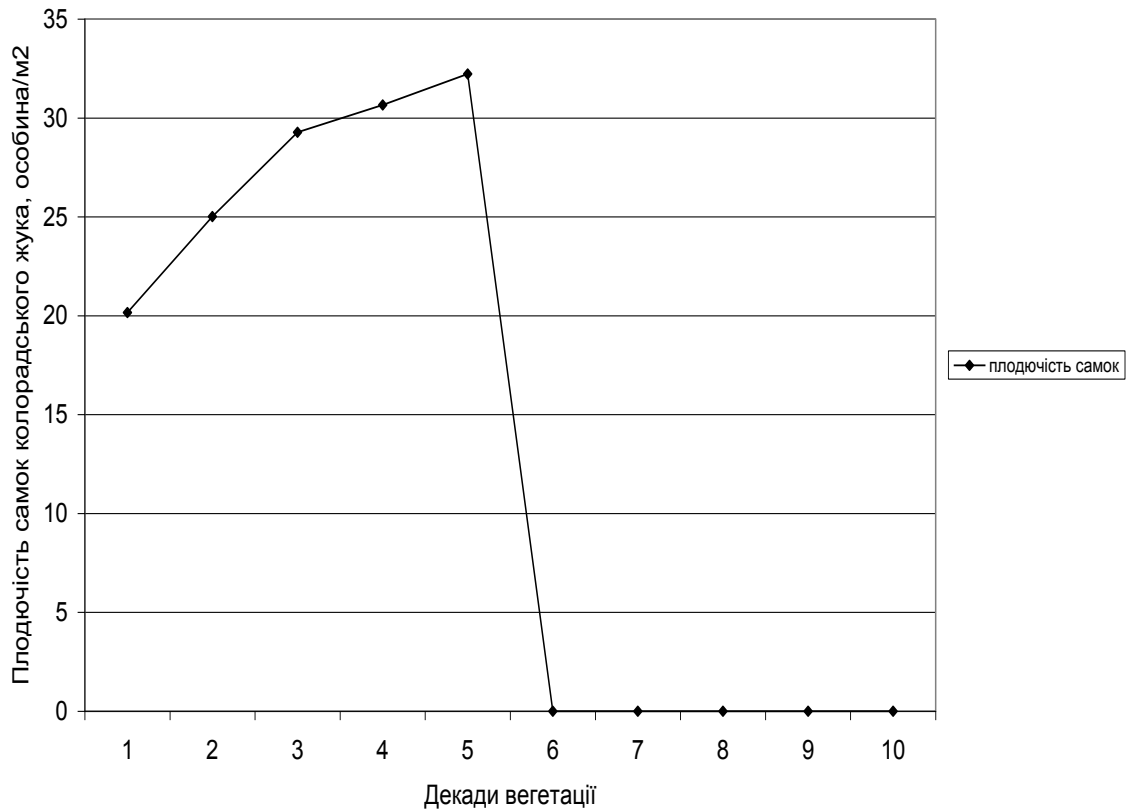


Рисунок 5.1.4 - Декадна плодючість самок колорадського жука при середньобагаторічних умовах в Сумській області

З рисунка 5.1.4 видно, що плодючість самок колорадського жука починається з першої декади вегетації і становить 20 особин на 1 м^2 . Надалі відбувається збільшення плодючості самок колорадського жука і до п'ятої декаді вже спостерігається 32 особини на 1 м^2 . Потім після п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука припиняється. Час початку яйцекладки настає через 13 днів від сходів.

В таблиці 5.1.1 представлена кількість жуків першої кладки при середньобагаторічних умовах в Сумській області. З таблиці видно, що тривалість періоду дозрівання жуків (число днів від виходу жуків до початку яйцекладки) складає 19 днів, відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки становить 94 %. Загибель жуків після зимівлі становить 87 %. Масовий вихід жуків відбувається при середній добовій температурі

повітря 14-15 °С. Нижнім термічним порогом харчування жуків є температура 10 °С.

Таблиця 5.1.1 - Кількість жуків першої кладки при середньобагаторічних умовах в Сумській області

Тривалість періоду дозрівання жуків (число днів від виходу жуків до початку яйцекладки)	Загальне число жуків після виходу з ґрунту, особина/м ²	Загибель жуків після зимівлі, %	Відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки
19	3	87	94

Загальне число жуків після виходу з ґрунту складає 3 особини на 1 м².

5.2 Формування врожайності картоплі і розвиток популяції колорадського жука при посушливих умовах в Сумській області

Потреба картоплі у волозі визначається хімічним складом і обсягом надземної маси, а також врожайністю бульб. Культура картоплі характеризується і як вельми вимоглива до вологості ґрунту, і одночасно як стійка до посухи. Високе споживання картоплею вологи на певних етапах онтогенезу в значній мірі визначається тим, що коренева система охоплює значно менший обсяг ґрунту, ніж коренева система інших рослин, - в 1,4 рази в порівнянні з ячменем і в 2,2 рази в порівнянні з цукровим буряком [15]. Розвивається коренева система переважно до глибини 60-70 см. Високі температури гнітюче діють на бульбоутворення картоплі. Особливо несприятливо такі температури впливають на ранні сорти картоплі. Швидкість ембріонального розвитку колорадського жука на різних етапах мало змінюється при температурах 17 і 27 °С. При 27 °С ембріональний

розвиток закінчувався через 96 год, а при 17 °С він триває 216 год, при постійній температурі 23 °С, тривалість розвитку яєць становила 144 ч. Температура 17 °С менш сприятлива для розвитку, ніж температура 27 °С. При температурах 20-23 °С, розвиток яєць відбувається нормально, проте вже при температурі нижче 20 °С розвиток яєць на пізніх етапах сповільнюється, при 35 °С спостерігається швидка загибель яєць, особливо на ранніх етапах ембріогенезу. Гігротермічної оптимум ембріонального розвитку знаходиться в межах 22-25 °С, при відносній вологості повітря 70-75 %.

У цій главі розглянемо, як відбувався розвиток біомаси окремих органів рослини картоплі, яка була врожайність картоплі та як відбувався розвиток популяції колорадського жука в Сумській області при посушливих умовах. Нами моделювалася, залежність розвитку популяції колорадського жука від температури і опадів. Розглянемо вплив посушливих умов, а саме (опадів низькі, а температура висока) на розвиток популяції колорадського жука і на формування врожайності картоплі в Сумській області.

Розглянемо динаміку площі листя картоплі при посушливих умовах в Сумській області.

На рисунку 5.2.1 представлена динаміка площі листя картоплі при посушливих умовах в Сумській області. З рисунка 5.2.1 видно, що площа листя картоплі при посушливих умовах почала свій розвиток з першої декади вегетації і дорівнювала 0,11 м²/м², потім площа листя почала трохи збільшуватися і максимум площі листя відзначається в п'яту декаду вегетації і становить 0,78 м²/м². Потім площа листя картоплі починає знижуватися і знижується до кінця вегетації. З рисунка 5.2.1 можна зробити висновок, що посушливі умови дуже гнітюче впливають на площу листя картоплі.

Надамо оцінку впливу посушливих умов на суху біомасу бульб картоплі в Сумській області. На рисунку 5.2.2 оцінено вплив посушливих умов на суху біомасу бульб картоплі в Сумській області.

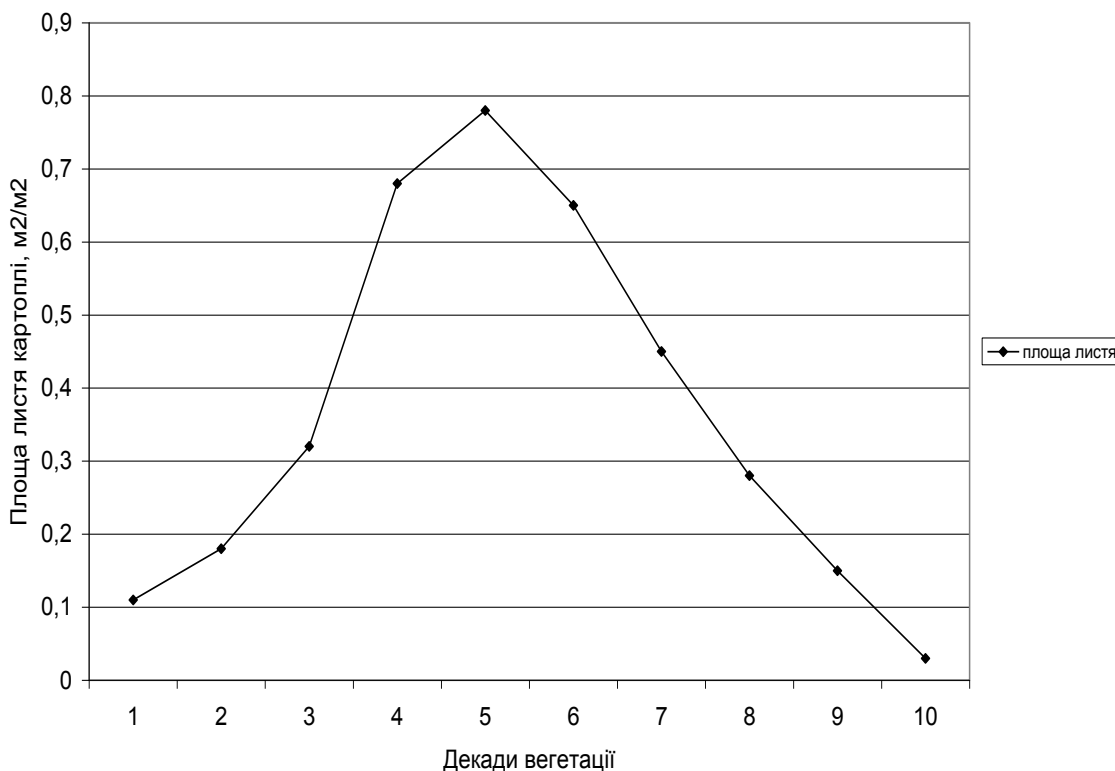


Рисунок 5.2.1 – Динаміка площі листя картоплі при посушливих умовах в Сумській області

З рисунка 5.2.2 видно, що суха біомаса бульб картоплі почала збільшуватися з шостої декади вегетації і в шосту декаду вегетації склала $35,05 \text{ г/м}^2$. Суха біомаса бульб картоплі після шостої декади вегетації почала далі збільшуватися і збільшувалася до кінця вегетації. Максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі спостерігається в десятую декаду вегетації і становить $179,88 \text{ г/м}^2$.

На рисунку 5.2.3 представлена суха біомаса цілої рослини картоплі при посушливих умовах в Сумській області. З рисунка 5.2.3 видно, що суха біомаса цілої рослини картоплі при посушливих умовах в Сумській області впродовж всієї вегетації набирала масу. Максимальне значення сухої біомаси цілої рослини картоплі спостерігається в десятую декаду вегетації.

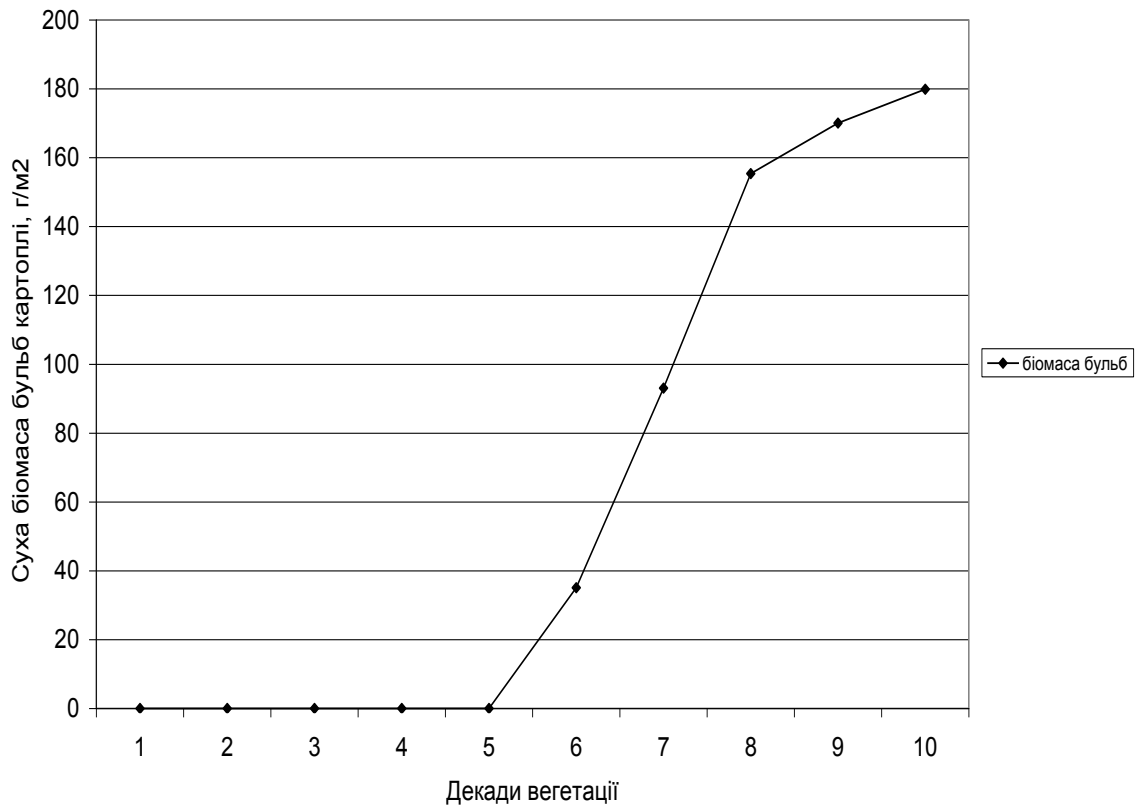


Рисунок 5.2.2 – Суха біомаса бульб картоплі при посушливих умовах в Сумській області

Суха біомаса цілої рослини картоплі при посушливих умовах в Сумській області збільшувалася з першої по десяту декади вегетації. Максимальна суха біомаса цілої рослини картоплі становить 175 г/м².

Оптимальні умови для накопичення врожаю бульб створюються при безперебійному постачанні рослин вологою, що можливо в тому випадку, якщо вологість ґрунту в зоні поширення основної маси коренів в цей період підтримується на рівні 70-80 % повної вологоємності. Нестача вологи в ґрунті під час цвітіння призводить до зниження врожайності в два рази більшому, ніж її недолік в інші фази розвитку. Урожай бульб картоплі ранніх сортів визначається опадами червня, середньостиглих - опадами липня і серпня, а пізніх - опадами липня, серпня і вересня.

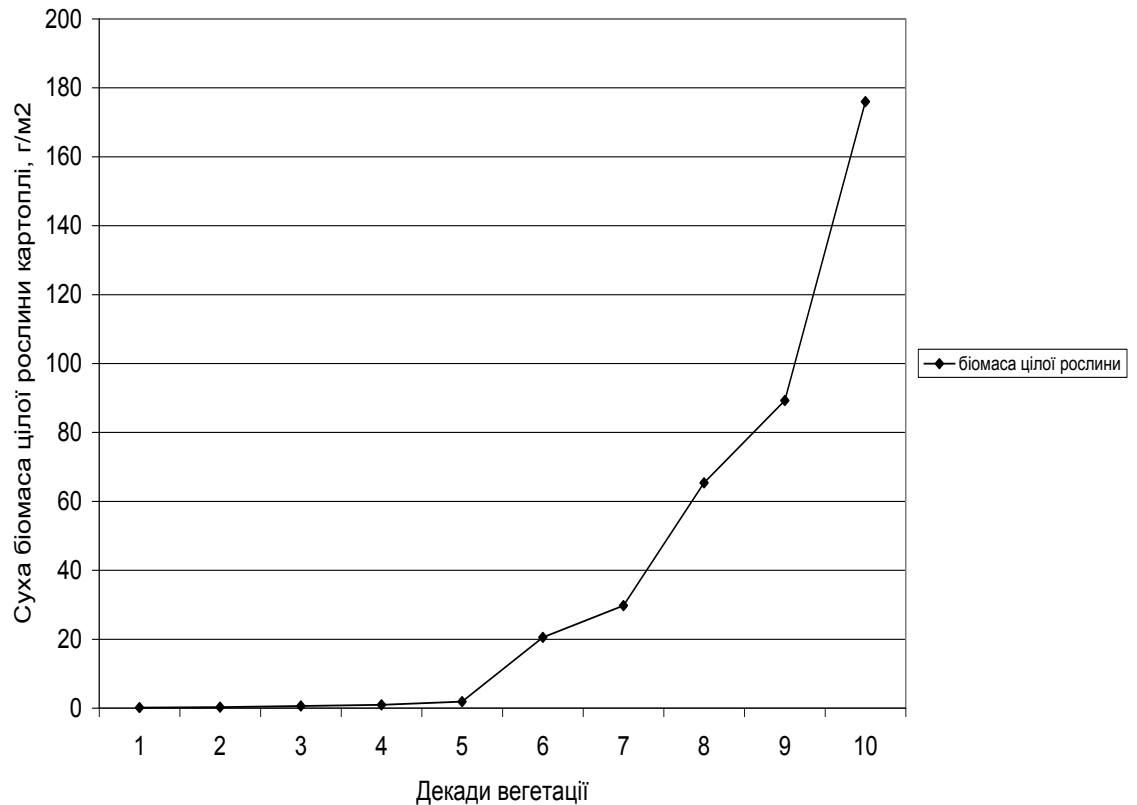


Рисунок 5.2.3 – Суха біомаса цілої рослини картоплі при посушливих умовах в Сумській області

Після виходу з зимівлі поведінка жуків визначається їх фізіологічним станом та умовами середовища, серед яких вирішальне значення належить температурному фактору. Велике значення для відновлення активної життєдіяльності жуків має також вологість ґрунту, а при дозріванні та відкладанні яєць - умови харчування і довжина дня. Фізіологічний стан, температура та інтенсивність сонячної радіації значною мірою визначають поведінку жуків після їх виходу з ґрунту. У ранкові години жуки стають активними при сонячній погоді вже при 17-18 °С, але в похмуру погоду активність жуків виражена слабо.

На рисунку 5.2.4 представлена декадна плодючість самок колорадського жука при посушливих умовах в Сумській області.

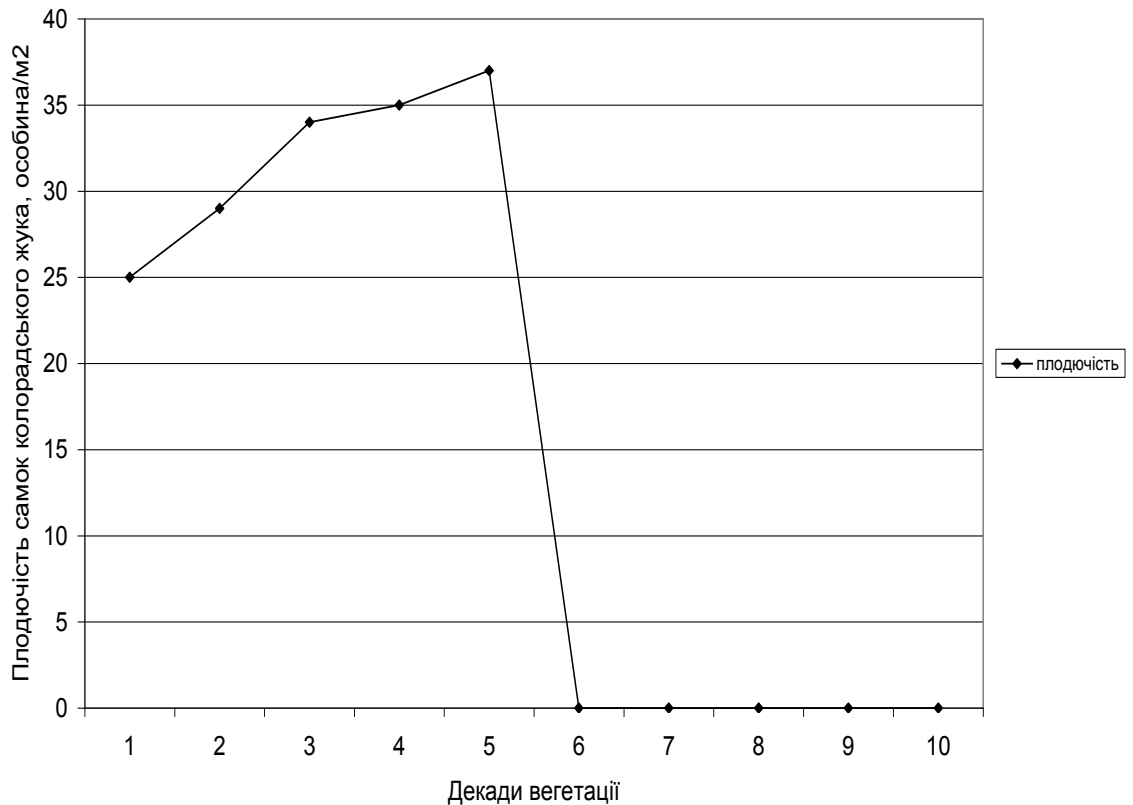


Рисунок 5.2.4 - Декадна плодючість самок колорадського жука при посушливих умовах в Сумській області

З рисунка 5.2.4 видно, що плодючість самок колорадського жука починається з першої декади вегетації і становить 25 особин на 1 м². Надалі відбувається подальша плодючість самок колорадського жука, збільшується і до п'ятої декади вже спостерігається 37 особин на 1 м². Потім після п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука припиняється. При посушливих умовах плодючість самок колорадського жука збільшується, ніж при середньобагаторічних умовах, це говорить про те, що підвищення температури дуже добре впливає на плодючість самок колорадського жука.

В таблиці 5.2.1 дана кількість жуків першої кладки при посушливих умовах в Сумській області.

З таблиці видно, що відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки складає 81 %. Загибель жуків після зимівлі становить 87 %.

Таблиця 5.2.1 - Кількість жуків першої кладки при посушливих умовах в Сумській області

Тривалість періоду дозрівання жуків (число днів від виходу жуків до початку яйцекладки)	Загальне число жуків після виходу з ґрунту, особина/м ²	Загибель жуків після зимівлі, %	Відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки
19	3	87	81

Тривалість періоду дозрівання жуків становить 19 днів від виходу жуків з ґрунту до початку яйцекладки. Загальне число жуків після виходу з ґрунту дорівнює 3 особинам на 1 м².

5.3 Формування врожайності картоплі і розвиток популяції колорадського жука при вологих умовах в Сумській області

Серед фізичних факторів зовнішнього середовища, що впливають на комах, основне значення мають температура, вологість, світло (інтенсивність, тривалість дії і спектральний склад). Зазначені фактори, впливають на всі сторони життєдіяльності колорадського жука, визначаючи швидкість його розвитку, статевого дозрівання, розмноження і плодючість, швидкість споживання корму і його кількість, виживаність в період активної життєдіяльності та зимівлі. Кількість опадів має великий вплив на колорадського жука. Несприятливі для збільшення чисельності шкідника райони з річними сумами опадів менше 300 мм і більше 1200-1500 мм. Несприятливими для розмноження колорадського жука умовами є температура вище 27 °С і нижче 14 °С і вологість повітря вище 80 і нижче 40 %. Лялечки колорадського жука чутливі до підвищеної вологості ґрунту,

яка негативно діє на їх виживання. Перезволоження ґрунту в шарі розміщення лялечок, а також рясні дощі викликають масову загибель лялечок і молодих жуків. Сильну негативну дію на розвиток личинок колорадського жука надає низька відносна вологість повітря. Тривале перебування їх при вологості повітря нижче 30 % не тільки збільшує відсоток загибелі личинок, але й призводить до того, що після припинення харчування вони виявляються нездатними зариватися в ґрунт і в масі гинуть на її поверхні [10].

У цій главі розглянемо, як відбувався розвиток біомаси окремих органів рослини картоплі, яка була врожайність картоплі і як відбувався розвиток популяції колорадського жука в Сумській області при вологих умовах. Нами моделювалася, залежність розвитку популяції колорадського жука від температури і опадів. Розглянемо вплив вологих умов, а саме (опадів високі, а температура низька) на розвиток популяції колорадського жука і на формування врожайності картоплі в Сумській області.

На рисунку 5.3.1 представлена динаміка площі листя картоплі при вологих умовах в Сумській області. З рисунка 5.3.1 видно, що площа листя картоплі при вологих умовах почала свій розвиток з першої декади вегетації і дорівнювала $0,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$, потім площа листя картоплі почала інтенсивно збільшуватися. Максимальне значення площі листя картоплі спостерігається в п'яту декаду вегетації і дорівнює $3,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Потім площа листя картоплі поступово знижується, так в восьму декаду вегетації площа листя картоплі складає $1,48 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а в десятю декаду вегетації площа листя картоплі далі продовжує знижуватися і складає $0,08 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

На рисунку 5.3.2 представлена суха біомаса бульб картоплі при вологих умовах в Сумській області. Суха біомаса бульб картоплі почала збільшуватися з шостої декади вегетації і в шосту декаду вегетації склала $93,45 \text{ г}/\text{м}^2$, потім суха біомаса бульб картоплі продовжувала збільшуватися.

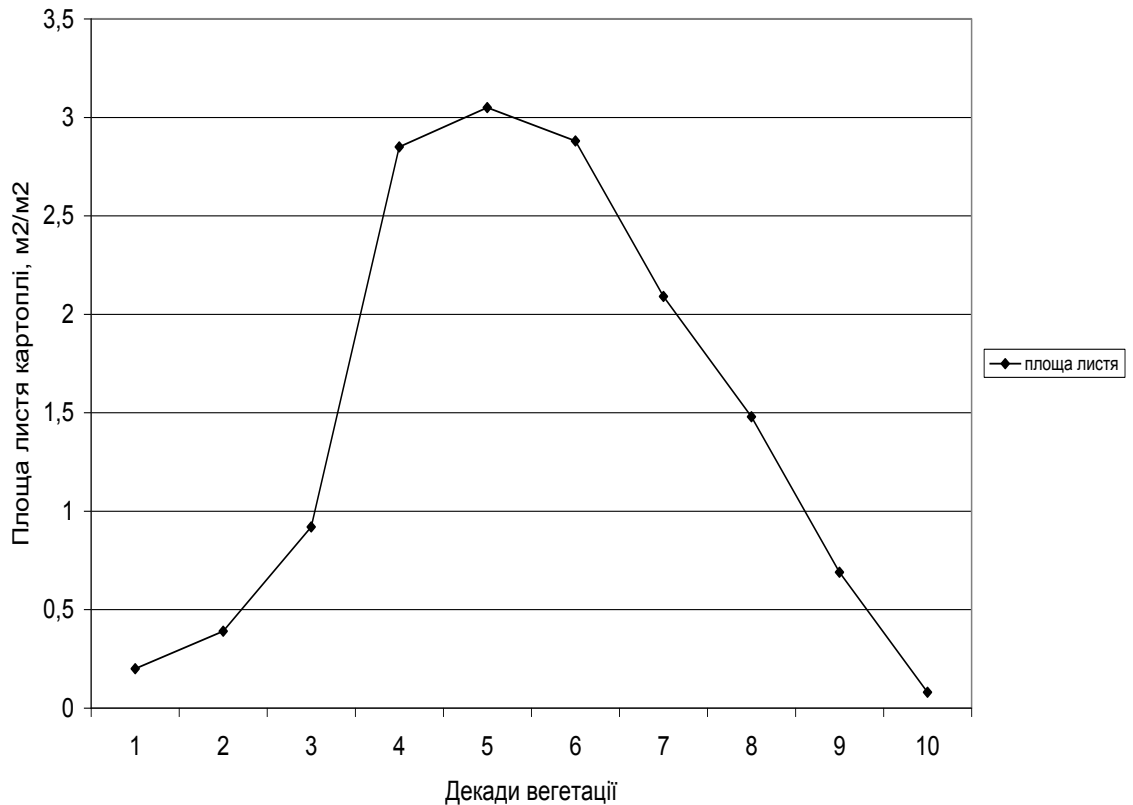


Рисунок 5.3.1 – Динаміка площі листя картоплі при вологих умовах в Сумській області

Суша біомаса бульб картоплі продовжувала збільшуватися до кінця вегетації. В восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі збільшилася до $387,6 \text{ г/м}^2$, в дев'яту декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі ще збільшилася і склала $526,6 \text{ г/м}^2$. Максимальне значення сухої біомаси бульб картоплі зафіксовано в десяту декаду вегетації і складає $650,8 \text{ г/м}^2$.

З рисунка 5.3.2 можна зробити висновок, що вологі умови в Сумській області сприятливо впливають на суху біомасу бульб картоплі, порівняно з посушливими і середньобагаторічними умовами.

На рисунку 5.3.3 представлена суха біомаса цілої рослини картоплі при вологих умовах в Сумській області. З рисунка 5.3.3 видно, що суха біомаса цілої рослини картоплі почала збільшуватися з першої декади вегетації і до кінця вегетації, так в першу декаду вегетації суха біомаса цілої рослини картоплі склала $0,301 \text{ г/м}^2$.

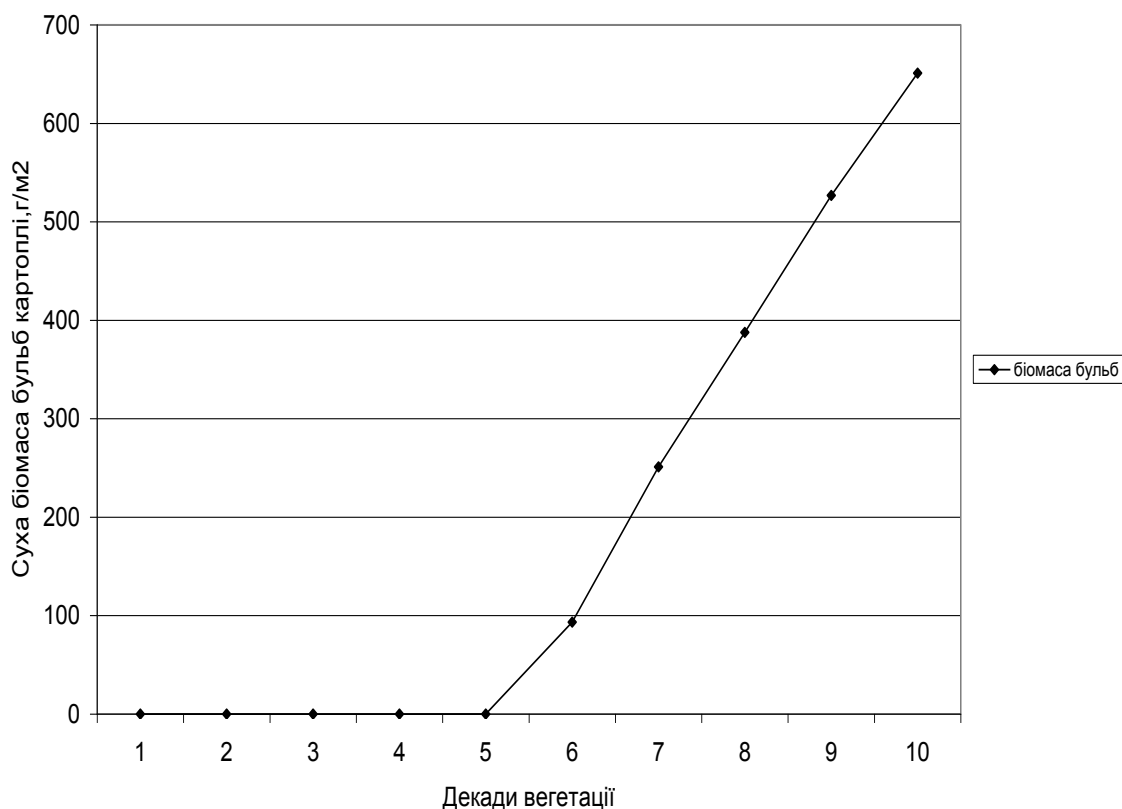


Рисунок 5.3.2 – Суха біомаса бульб картоплі при вологих умовах в Сумській області

Суха біомаса цілої рослини картоплі продовжувала збільшуватися і вже в четверту декаду вегетації збільшилася до $18,7 \text{ г/м}^2$. В восьму декаду вегетації суха біомаса цілої рослини картоплі склала 259 г/м^2 . Максимальне значення сухої біомаси цілої рослини картоплі зафіксовано в десятю декаду вегетації і становить 651 г/м^2 .

З рисунка 5.3.3 можна зробити висновок, що вологі умови в Сумській області сприятливо впливають на суху біомасу цілої рослини картоплі, порівняно з посушливими і середньобагаторічними умовами.

У таблиці 5.3.1 представлена кількість жуків першої кладки при вологих умовах в Сумській області. З таблиці видно, що відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки складає 100 %. Загибель жуків після зимівлі становить 87 %. Тривалість періоду дозрівання жуків

становить 19 днів від виходу жуків з ґрунту до початку яйцекладки. Загальне число жуків після виходу з ґрунту дорівнює 3 особинам на 1 м².

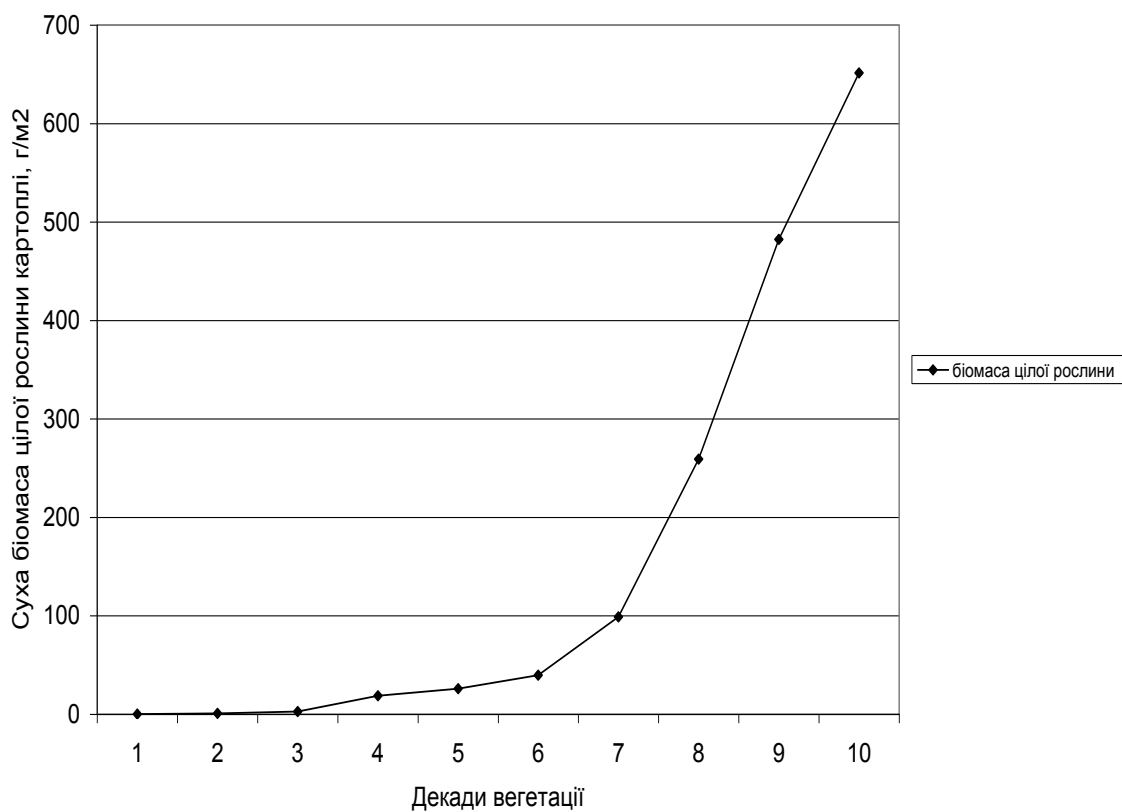


Рисунок 5.3.3 – Суха біомаса цілої рослини картоплі при вологих умовах в Сумській області

Таблиця 5.3.1 - Кількість жуків першої кладки при вологих умовах в Сумській області

Тривалість періоду дозрівання жуків (число днів від виходу жуків до початку яйцекладки)	Загальне число жуків після виходу з ґрунту, особина/м ²	Загибель жуків після зимівлі, %	Відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки
19	3	87	100

На рисунку 5.3.4 представлена декадна плодючість самок колорадського жука при вологих умовах в Сумській області.

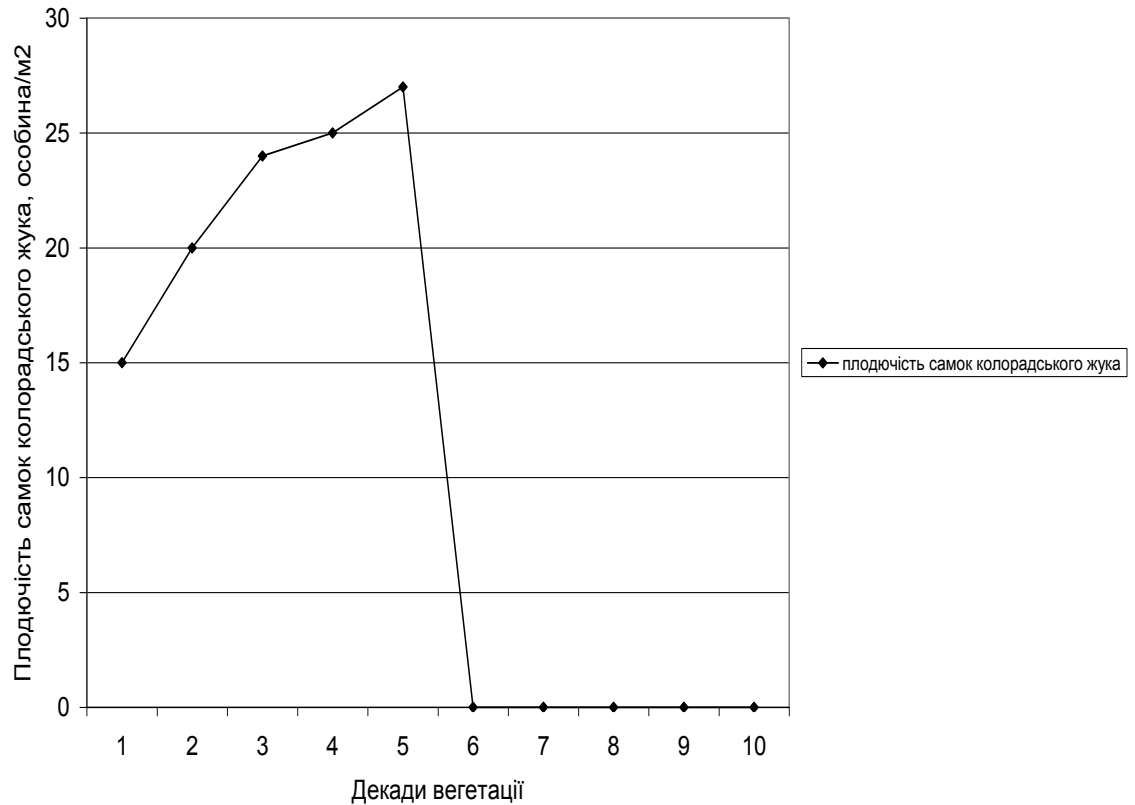


Рисунок 5.3.4 – Декадна плодючість самок колорадського жука при вологих умовах в Сумській області

З рисунка 5.3.4 видно, що плодючість самок колорадського жука починається з першої декади вегетації і становить 15 особин на 1 м². Надалі відбувається подальша плодючість самок колорадського жука. Плодючість самок колорадського жука збільшується і в другу декаду вегетації становить 20 особин на 1 м². В четверту декаду вегетації плодючість самок колорадського жука продовжує збільшуватися і становить 25 особин на 1 м². До п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука збільшується і в п'яту декаду вегетації вже спостерігається 27 особин на 1 м². Потім після п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука припиняється.

5.4 Порівняльна характеристика врожайності картоплі та розвитку популяції колорадського жука при різних агрометеорологічних умовах в Сумській області

У цій главі представимо порівняльну характеристику, розглянемо розвиток біомаси окремих органів рослини картоплі, врожайність картоплі, розвиток популяції колорадського жука в Сумській області при вологих, посушливих і середньобагаторічних умовах. Необхідно оцінити вплив вологих і посушливих умов на плодючість самок колорадського жука, визначити загальне число жуків після виходу з ґрунту, визначити відсоток загибелі особин за період розвитку жуків першої кладки і дати порівняльну оцінку з середньобагаторічними умовами. Межі і оптимуми гідротермічних умов колорадського жука на різних фазах його розвитку досліджувалися як в лабораторних так і в польових умовах. Нижній температурний поріг розвитку яєць личинок і лялечок колорадського жука дорівнює $11,5^{\circ}\text{C}$. Нормальний розвиток зародка йде при температурах від 17 до 33°C . Оптимальні ж гідротермічні умови при яких ембріональний розвиток проходить з найбільшою швидкістю при мінімальній смертності створюються при температурі $22-25^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря $70-75\%$. На повноту відродження личинок негативний вплив робить відносна вологість повітря вище 85 і нижче 40% . При цьому негативна дія високої вологості посилюється при відхиленні температури від оптимальної в сторону більш низьких її значень, а низькій вологості - при більш високих значеннях температури в порівнянні з оптимумом. Оптимальні умови для життєдіяльності імаго колорадського жука складаються при температурі близько 25°C і відносній вологості повітря $60-75\%$. Максимальна кількість яєць самка жука відкладає при температурі $23-25^{\circ}\text{C}$. Несприятливими для розмноження умовами є температура вище 27 і нижче 14°C і вологості повітря вище 80 і нижче 40% . Сезонна мінливість фізіологічного стану колорадського жука особливо проявляється в показнику холодостійкості

шкідника на різних стадіях його розвитку і в різні періоди життєвого циклу. Всі фази розвитку колорадського жука – яйця, личинки, лялечки, а також імаго в період активної життєдіяльності відрізняються зниженою стійкістю до дії низьких позитивних і негативних температур. Загибель яєць і личинок відбувається вже при короткочасному впливі температури нижче 0°C , дорослі особини при таких умовах зариваються в ґрунт, чи перебувають на його поверхні в стані холодового заціпеніння. Найбільш стійкими до дії негативних температур є жуки, що пройшли преддіапаузну підготовку, яка полягає в накопиченні жирового запасу, зниженні вмісту вільної води в організмі і збільшенні їх маси в результаті активного харчування. Недостатньо підготовленою до зимівлі виявляється та частина популяції шкідника, яка йде в ґрунт під дією пониження температури.

Розглянемо як відбувається загибель колорадського жука від температури.

На рисунку 5.4.1 представлена загибель колорадського жука в залежності від температури повітря в Сумській області. З рисунка видно, що загибель колорадського жука після зимівлі при температурі 11°C складає 100 %. При збільшенні температури загибель колорадського жука значно знижується, так при температурі 17°C , загибель колорадського жука зменшується і становить 75 %. При подальшому збільшенні температури повітря загибель колорадського жука продовжується знижуватися, так при температурі 21°C , загибель колорадського жука становить всього 53 %. Рисунок 5.4.1 говорить про те, що при стійкій сприятливій температурі, а з рисунка 5.4.1, видно що така температура це 21°C , загибель колорадського жука після зимівлі буде мінімальною.

На рисунку 5.4.2 представлена динаміка площі листя картоплі в Сумській області при посушливих, вологих і середньобогаторічних умовах. З рисунка 5.4.2 видно, що посушливі умови негативно впливають на площу листя картоплі максимум становить $0,78 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

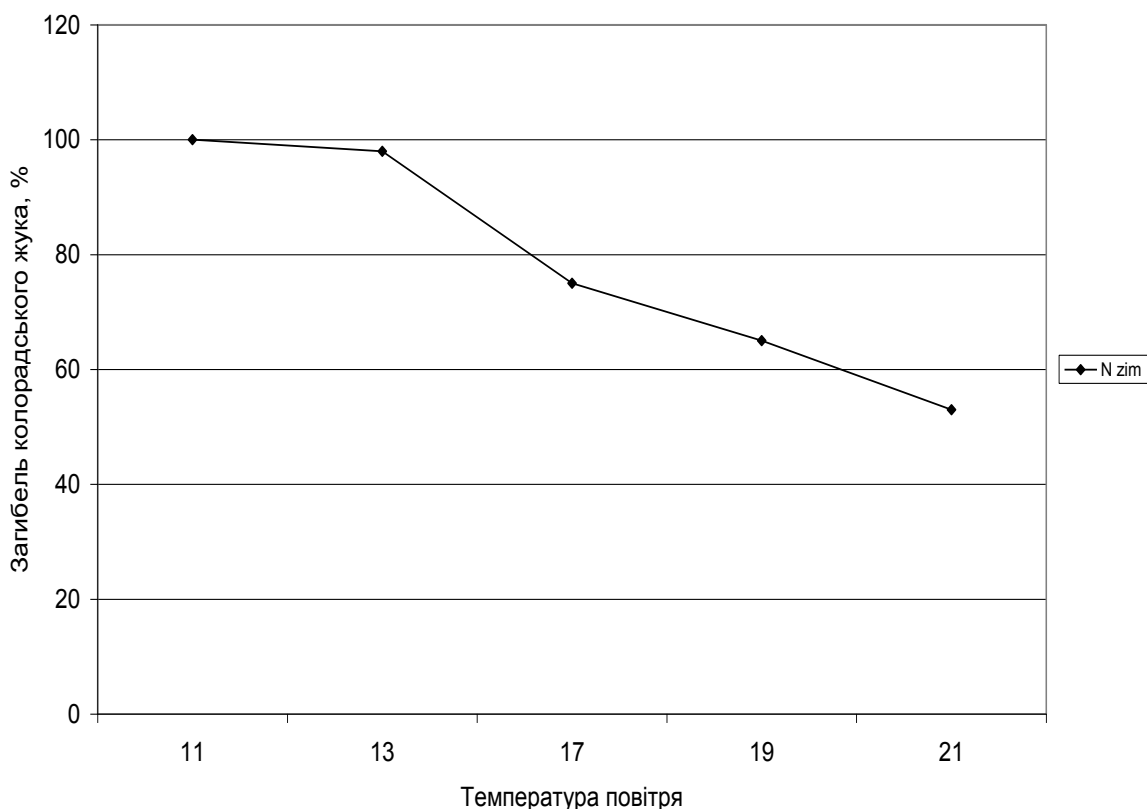


Рисунок 5.4.1 - Загибель колорадського жука в залежності від температури повітря в Сумській області

Протягом всієї вегетації площа листя при посушливих умовах дуже погано розвивається, що не можна сказати про вологі умови. При вологих умовах площа листя картоплі досить добре розвивається, навіть краще, ніж при середньобагаторічних умовах. Максимум при вологих умовах помічений в п'яту декаду вегетації і дорівнює $3,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Це говорить про те, що вологі умови добре впливають на площу листя картоплі. При середньобагаторічних умовах в Сумській області, площа листя нормально розвивалася протягом усієї вегетації і досягла максимуму в п'яту декаду вегетації, потім трохи знизилася. Максимум помічений в п'яту декаду вегетації дорівнює $2,88 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

З рисунка 5.4.2 можна зробити висновок, що на площу листя картоплі в Сумській області добре впливають вологі умови, при вологих умовах максимальна площа листя становить $3,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$ і згубно впливають посушливі умови.

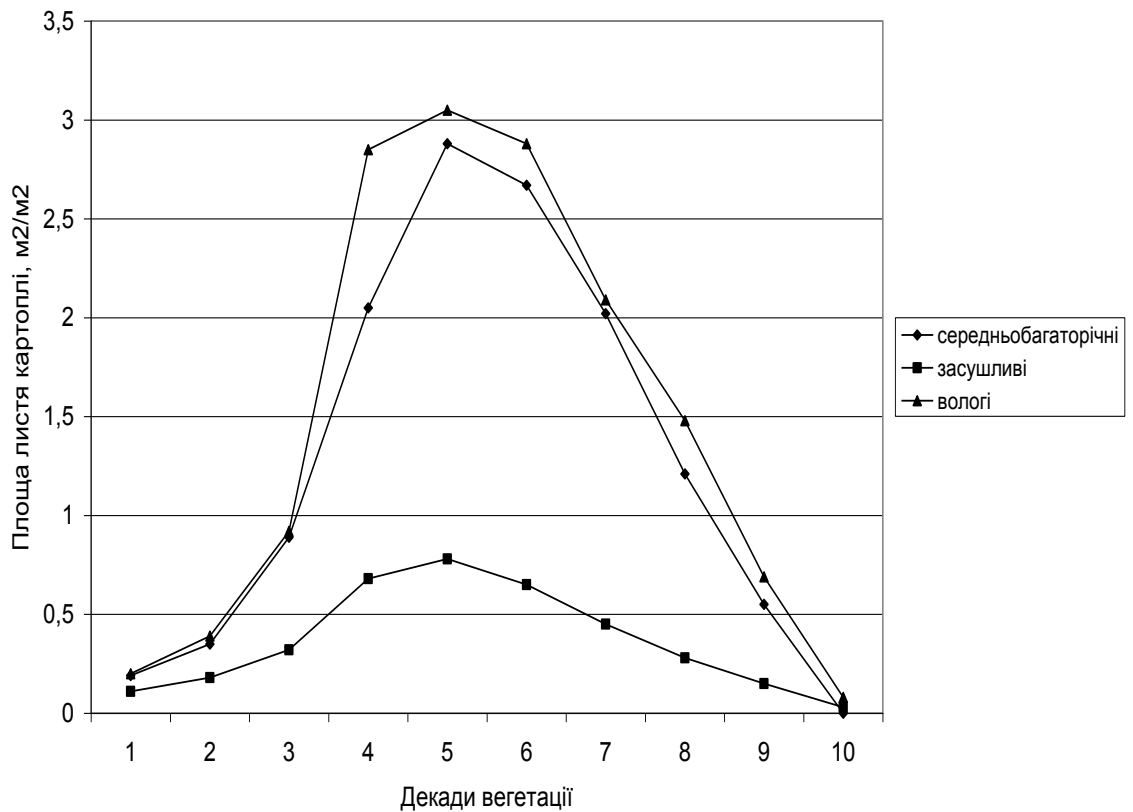


Рисунок 5.4.2 - Динаміка площі листя картоплі в Сумській області при посушливих, вологих і середньобагаторічних умовах

Розглянемо як розвивалася суха біомаса бульб картоплі при посушливих, вологих і середньобагаторічних умовах в Сумській області.

На рисунку 5.4.3 представлена суха біомаса бульб картоплі при посушливих, вологих і середньобагаторічних умовах в Сумській області. З рисунка 5.4.3 видно, що посушливі умови згубно впливають на суху біомасу бульб картоплі, суха біомаса бульб картоплі протягом усієї вегетації дуже погано розвивається і не набирає масу навіть наприкінці вегетації. Суха біомаса бульб картоплі при посушливих умовах наприкінці вегетації становить всього 179,88 г/м². При вологих умовах, суха біомаса бульб розвивається добре, в кінці вегетації суха біомаса бульб картоплі становить 650,8 г/м². При середньобагаторічних умовах суха біомаса бульб картоплі нормально розвивається протягом усієї вегетації і в кінці вегетації набирає масу і складає 583,7 г/м².

З рисунка 5.4.3 можна зробити висновок, що згубними для сухої біомаси бульб картоплі є посушливі умови, а нормальними умовами є вологі та середньобагаторічні умови в Сумській області.

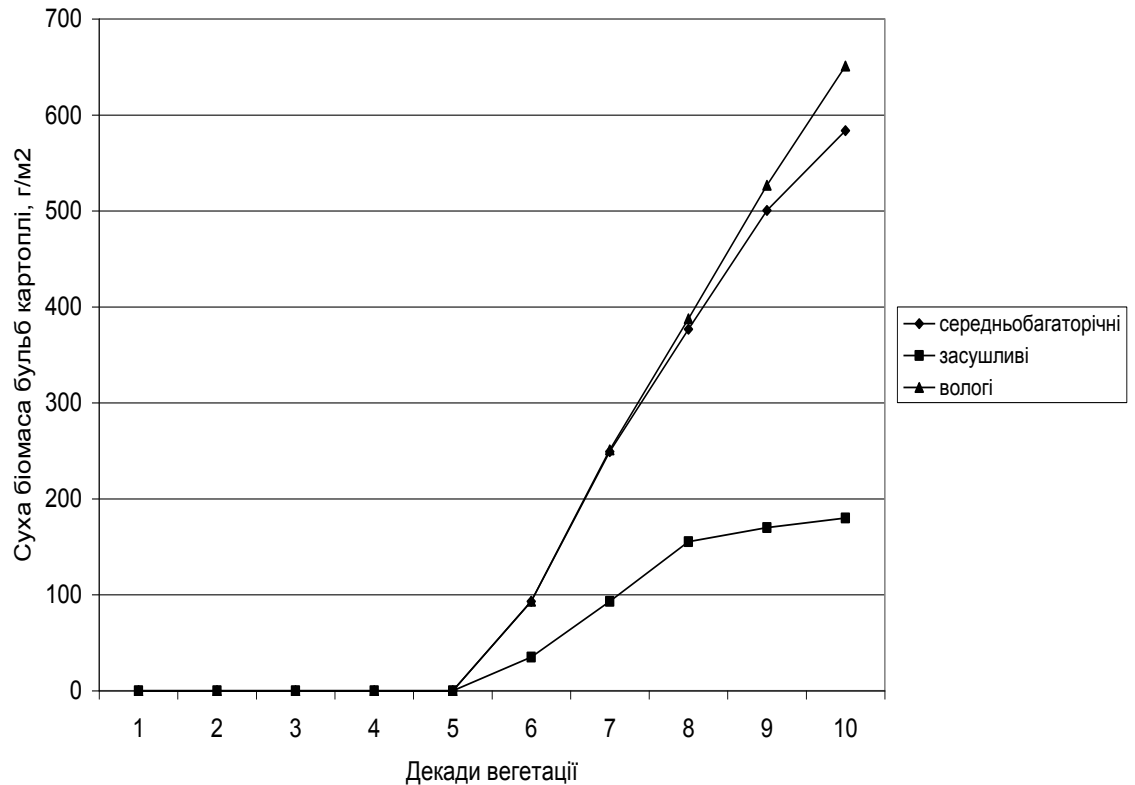


Рисунок 5.4.3 – Суха біомаса бульб картоплі при посушливих, вологих і середньобагаторічних умовах в Сумській області

Характерною особливістю розмноження колорадського жука є розтягнутість періоду яйцекладки до двох-трьох місяців. За цей час одна самка шкідника може відкласти до 1000-1500 яєць, з яких при сприятливих умовах може розвинутиися до 50 % личинок старших віків і молодих жуків.

Розглянемо декадну плодючість самок колорадського жука при різних агрометеорологічних умовах в Сумській області.

На рисунку 5.4.4 представлена декадна плодючість самок колорадського жука при посушливих, вологих і середньобагаторічних умовах в Сумській області. З рисунка 5.4.4 видно, що плодючість самок колорадського жука при посушливих умовах на початку вегетації становить

25 особин на 1м^2 . Надалі відбувається подальша плодючість самок колорадського жука, збільшується і до п'ятої декади вегетації вже спостерігається 37 особин на 1м^2 .

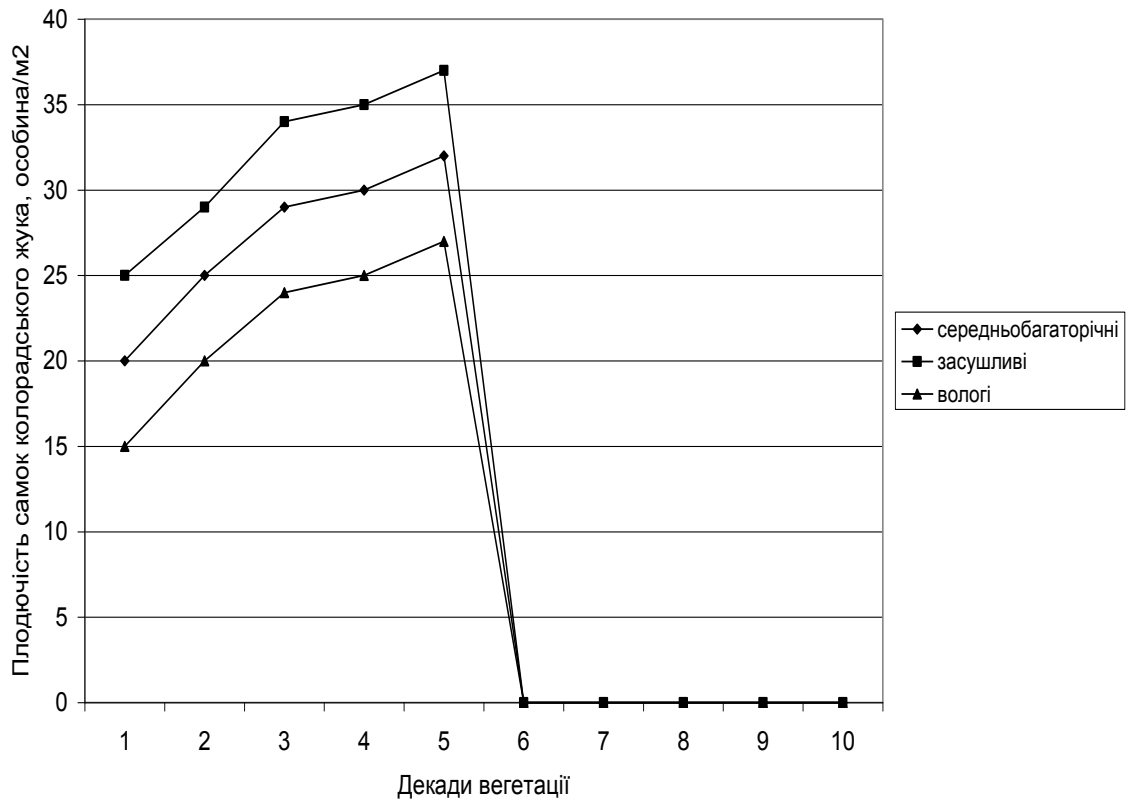


Рисунок 5.4.4 – Декадна плодючість самок колорадського жука при різних агрометеорологічних умовах в Сумській області

Після п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука припиняється. Це говорить про те, що при високій температурі і невеликих опадах плодючість самок колорадського жука збільшується.

З рисунка 5.4.4 видно, що при вологих умовах плодючість самок колорадського жука починається з першої декади вегетації і становить 15 особин на 1м^2 . Надалі відбувається подальша плодючість самок колорадського жука, збільшується і до п'ятої декади вегетації вже спостерігається 27 особин на 1м^2 . Потім після п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука припиняється. Це говорить про те, що

низька температура і високі опади негативно впливають на плодючість самок колорадського жука.

З рисунка 5.4.4 видно, що при середньобагаторічних умовах плодючість самок колорадського жука починається з першої декади вегетації і становить 20 особин на 1 м^2 . Надалі відбувається подальша плодючість самок колорадського жука, збільшується і до п'ятої декаді вже спостерігається 32 особини на 1 м^2 . Потім після п'ятої декади вегетації плодючість самок колорадського жука припиняється.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи були отримані наступні основні результати:

1. Вивчені біологічні особливості картоплі і її вимоги до факторів зовнішнього середовища.
2. Вивчена структура динамічної моделі формування врожаю картоплі.
4. В чисельних експериментах за допомогою розрахунків по моделі виконана оцінка впливу агрометеорологічних умов на розвиток популяції колорадського жука і формування врожайності картоплі в Сумській області.
5. Проведена порівняльна характеристика різних умов (посушливих, вологих і середньобагаторічних) в Сумській області на розвиток популяції колорадського жука і на формування росту та розвитку картоплі.
6. За допомогою численних експериментів визначені: площа листя картоплі (при посушливих умовах максимальна площа листя $0,78 \text{ м}^2/\text{м}^2$; при вологих умовах $3,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$; при середньобагаторічних умовах $2,88 \text{ м}^2/\text{м}^2$).
7. Визначена суха біомаса листя, стебел, коренів, бульб картоплі і рослини в цілому при різних агрометеорологічних умовах в Сумській області. Суха біомаса бульб при посушливих умовах – $179 \text{ г}/\text{м}^2$; при вологих умовах – $650 \text{ г}/\text{м}^2$; при середньобагаторічних умовах – $583 \text{ г}/\text{м}^2$.
8. Визначена декадна плодючість самок колорадського жука. При посушливих умовах максимальна плодючість самок колорадського жука – $37 \text{ особин}/\text{м}^2$; при вологих умовах – $27 \text{ особин}/\text{м}^2$; при середньобагаторічних умовах – $32 \text{ особини}/\text{м}^2$.
9. Визначена залежність загибелі колорадського жука після зимівлі від температури повітря в Сумській області (при температурі 11°C – 100% загибель; при 13°C – 98% ; при 17°C – 75% ; при 19°C – 65% ; при 21°C – 53%).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агроклиматический справочник по Сумской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1958.
2. Бей-Биенко Г.Я. Общая энтомология. –М.: Высшая школа, 1980. – 416 с.
3. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги – Л.: Гидрометеиздат, 1980. -223 с.
4. Бондлендер Б.А. Влияние температуры, солнечной радиации и фотопериода на развитие растений и урожая // Рост и развитие картофеля. – М., 1966.
5. Бордукова М.В. Болезни и вредители картофеля. –М.: Сельхозгиз, 1955.
6. Брежнев А.И., Малинина В.Г. Математическое моделирование экологических взаимодействий в агроэкосистеме картофель-вредитель-среда обитания // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. –Т. 7. –С. 195-208.
7. Венгорек В.Г. Исследования зимовки колорадского жука на основе его физиологии // Колорадский жук и меры борьбы с ним. –М.: Изд-во АН СССР, 1958. –Сб. 2. – С. 53-65.
8. Вольвач В.В. Агроклиматическая оценка условий развития и вредоносности колорадского жука на ЕТС. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – С.12.
9. Вольвач В.В. Методическое пособие гидрометеорологическим станциям и постам по прогнозированию сроков развития колорадского жука / Под ред. док. геогр. наук А.П. Федосеева. – М.: Гидрометеиздат, 1975. –С.6.
10. Вольвач В.В. Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука. –Л.: Гидрометеиздат, 1987. –С. 240.

11. Вольвач В.В., Пуголовкина Л.С. Прикладная модель развития колорадского жука и метод сезонного прогноза интенсивности его размножения // Труды ВНИИСХМ. – 1987. – Вып. 19. С. 13-30.
12. Динамическая теория биологических популяций / Под ред. Р.А. Полуэктова. – М.: Наука, 1974. – 455 с.
13. Колорадский картофельный жук / Под ред. Р.С. Ушатинской. – М.: Наука, 1981. – 375 с.
14. Лорх А.Г. Динамика накопления урожая картофеля. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 191 с.
15. Лорх А.Г. О картофеле. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 151 с.
16. Максимович М.М. О методах и приемах улучшения семенного картофеля // Картофель, 1962.
17. Миндер И.Ф., Козаржевская Э.Ф. Экология зимней диапаузы колорадского жука / Экология и физиология диапаузы колорадского жука. – М.: Наука, 1966. – С. 45-68.
18. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 11, ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 316 с.
19. Пеннинг де Фриз Ф.В.Г., Ван Лаар Х.Х. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 319.
20. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 286 с.
21. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов Н.А. Динамические модели экологических систем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 286 с.
22. Поляков И.Я., Семенов А.Я. Научные и организационные проблемы прогнозов в защите растений // Экологические основы стратегии и тактики защиты растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – С. 17-29.
23. Франк Дж., Торнли Дж. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 399.
24. <http://disser.com.ua>