

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-консультаційний  
центр заочної освіти  
Кафедра агрометеорології та  
агрометеорологічних прогнозів

## ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

рівень вищої освіти: спеціаліст

на тему: **Вплив агрометеорологічних умов на**  
**продуктивність гороху при різних строках сівби в**  
**Південному Степу України**

Виконала студентка групи АЕ-VI  
спеціальності 101 «Екологія»,  
спеціалізації «Агроекологія»  
Слісаренко Вікторія Сергіївна

Керівник:  
Колосовська Валерія Валеріївна  
Консультант: д.геогр.н., професор  
Польовий Анатолій Миколайович

Рецензент: к.геогр.н., доцент  
Гльїна Валентина Григоріївна

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-консультаційний центр заочної освіти \_\_\_\_\_  
Кафедра агрометеорології та агрометеорологічних прогнозів \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ спеціаліст \_\_\_\_\_  
Спеціальність 101 «Екологія», спеціалізація «Агроекологія» \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри агрометеорології та  
агрометеорологічних прогнозів

Польовий А.М.

« 13 » березня 2017 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТЦІ**

СЛІСАРЕНКО ВІКТОРІЇ СЕРГІЇВНІ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Вплив агрометеорологічних умов на продуктивність гороху при різних строках сівби в Південному Степу України»

керівник проекту Колосовська Валерія Валеріївна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 16 » січня 2017 року № 3-«С»

2. Строк подання студентом проекту 1 червня 2017 року

3. Вихідні дані до проекту Агрометеорологічні та метеорологічні спостереження та дані по урожайності гороху в Південному Степу України за період 1986-2005 роки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Дати опис фізико-географічних особливостей Південного Степу України; Вивчити біологічні особливості гороху та його вимоги до умов навколишнього середовища;

Вивчити базову модель формування продуктивності сільськогосподарських культур А.М.Польового;

Підготувати вхідну інформацію для виконання розрахунків за моделлю;

Дати оцінку впливу різних строків сівби на продуктивність гороху в Південному Степу України

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

Графіки динаміки відносної площі листя рослин гороху; графіки агрометеорологічних умов вегетації гороху; графіки динаміки чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху в Південному Степу України.

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Польовий А.М., завідувач кафедри	24.04.2017	25.04.2017

7. Дата видачі завдання 13 березня 2017 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання. Ознайомлення з літературними джерелами та темою дипломного проекту, складання першого розділу	13.03.2017 р.- 26.03.2017 р	90	Відм.
2	Складання фізико-географічного огляду зони. Оформлення текстової частини першого та другого розділів дипломного проекту	27.03.2017 р.- 2.04.2017 р.	90	Відм.
	Атестація I	3.04.2017 р.- 8.04.2017 р.	90	Відм.
3	Вивчення алгоритму моделі. Збір матеріалів спостережень та їх обробка.	09.04.2017 р.- 23.04.2017 р.	90	Відм.
4	Оптимізація параметрів, щодо території досліджень та культури.	24.04.2017 р.- 26.04.2017 р.	90	Відм.
5	Проведення розрахунків на ПЕОМ. Побудова табличного та графічного матеріалу.	27.04.2017 р.- 2.05.2017 р.	90	Відм.
	Атестація II	3.05.2017 р.- 6.05.2017 р.	90	Відм.
6	Аналіз отриманих розрахунків. Оформлення текстової частини третього та четвертого розділів дипломного проекту	8.05.2017 р.- 15.05.2017р.	90	Відм.
7	Виправлення зауважень. Доопрацювання дипломного проекту після перевірки керівником.	16.05.2017 р. – 28.05.2017 р.	90	Відм.
	Підготовка доповіді та презентації до публічного захисту.	29.05.2017 р.- 01.06.2017 р.	90	Відм.
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>90</b>	

Студентка \_\_\_\_\_  
(підпис)

Слісаренко В.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
(підпис)

Колосовська В.В.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ І ВИМОГИ ГОРОХА ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	7
1.1 Коротка ботанічна характеристика гороху	7
1.2 Вимоги гороху до тепла	10
1.3 Вимоги гороху до вологи	13
1.4 Вимоги гороху до світла	15
1.5 Відношення гороху до ґрунтів і елементів мінерального живлення	16
1.6 Сорти гороху	18
1.7 Шкідники та хвороби гороху, заходи боротьби з ними	22
2 ФІЗИКО - ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ	25
3 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГОРОХУ	31
3.1 Концепція моделювання	33
3.2. Опис структури моделі формування врожайності гороху	36
3.2.1 Блок вхідної агрометеорологічної інформації	36
3.2.2 Блок початкових даних та шкали часу	37
3.2.3 Блок факторів навколишнього середовища	38
3.2.4 Біологічний блок	45
3.2.5 Блок врожайності	52

4	ВПЛИВ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ГОРОХА ПРИ РІЗНИХ СТРОКАХ СІВБИ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ	53
	ВИСНОВКИ	76
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	77

## ВСТУП

Горох – основна зернобобова культура в нашій країні, яка має різноманітне використання: продовольче, кормове, сидераційне.

Сучасні біотехнології відкривають нові можливості використання гороху в техніці (виробництва спирту, біодеградуючих полімерів та ін.), в медицині і фармацевтиці. Зараз горох вирощують у всіх землеробських районах світу. За посівними площами (близько 11 млн. га) він посідає четверте місце в світі після сої, квасолі, нуту. В Україні в кінці 80-х років ХХ ст. горох займав площу 1,5 млн. га, в 1999 році його посіви становили всього 600 тис. га., а в 2013 р.- 220 тис. га. Врожайність гороху в 2013 році склала 17,6 ц/га.

Горох вирощують для отримання харчових продуктів (круп, борошна, консервів), а також високобілкових кормів для тваринництва (комбікормів, зеленої маси, трав'яного борошна, сіна, силосу, сінажу). В Степу України він є одним з кращих попередників для посівів озимої пшениці. Це зумовлено тим, що після його збирання в ґрунті залишається до 70 кг азоту та інших органічних сполук [9].

Високий вміст білка, різноманітність використання, позитивний вплив на родючість ґрунту, доцільність посіву як парозаймаючої, проміжної, післяукісної культури, можливість вирощування в різних регіонах зумовлюють вагоме народногосподарське значення гороху.

Побудова математичних моделей фітоценозу відкриває можливості об'єднати знання з фізіології рослин, біофізики, метеорології, геоботаніки в єдине ціле, з тим, щоб вивчити, як функціонує і розвивається з часом фітоценоз, в якому виявляються закономірності, характерні для фітоценозу в цілому. Довгий час багато часу витрачалося на вивчення окремих частин біологічних систем,

замість того щоб скласти вже добре досліджені частини і розглянути, як вони функціонують як єдина система.

В основу наших досліджень було покладено модель продукційного процесу рослин А.М.Польового [14-16].

Виходячи з цього, основною метою дипломного проекту є: оцінка впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності гороху стосовно території Південного Степу за період з 1986 по 2005 роки.

## 1 БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ І ВИМОГИ ГОРОХА ДО ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Горох – найбільш скоростигла зернобобовая культура. Період вегетації залежно від сорту і умов обробітку коливається в межах від 70 до 140 днів [5].

Горох – рослина, яка самозапилюється, але в роки з сухим і спекотним літом можливо відкрите цвітіння і незначне перехресне запилення. Клубеньки на коренях починають формуватися через 7-10 днів після сходів. Максимальне їх зростання відзначається від початку цвітіння до початку дозрівання.

На початку свого розвитку горох проходить стадію яровизації. Вона триває від 10 до 20 днів. При яровизації пізньостиглих сортів гороху вони дозрівають на 5 - 10 днів раніше. Після проходження стадії яровизації горох проходить другу стадію - світлову.

Так як горох відноситься до рослин довгого дня, то він світлову стадію проходить найкраще при цілодобовому освітленні. Тому, цілком зрозуміло, що більшість сортів гороху зацвітають і дозрівають раніше при більшій тривалості дня.

### 1.1. Коротка ботанічна характеристика гороху

Горох (*Pisum*L.) - це однорічна культура, яка представлена кількома видами, з яких найбільш поширений поліморфний вид - горох культурний посівний (рис.1.1.). Він має кілька підвидів. Головний з них - горох звичайний посівний (*P.sarvense*) з білими квітками і світлим однотонним насінням (білим, рожевим, зеленим) і горох польовий (*P.sarvense*) з червоно - фіолетовими квітками і темним насінням [10, 11].





Рис. 1.1. - Горох посівний

Посівний горох часто підрозділяють на луцильні і цукрові сорти. У луцильних сортів у стінках бобу знаходиться жорсткий шар, їх обробляють на зерно. У цукрових сортів немає перманентного шару, їх боби можуть бути використані в зеленому стані в їжу. Вони вирощуються переважно на зелений горошок для консервної промисловості [ 4].

Коренева система гороху стрижнева, досить глибоко проникає в ґрунт, використовує поживні речовини з підґрунтя та здатна засвоювати їх з важкорозчинних сполук. Сильно розвинена коренева система підвищує стійкість рослин проти періодичних ґрунтових і атмосферних сполук. На головному корені і бічних корінцях утворюються нарости - бульбочки, за допомогою яких відбувається фіксація атмосферного азоту.

Листя гороху парнопірчасті, складаються з одного-двох пар листочків, великих прилистків і закінчуються вусиками. Форма листків залежно від сорту видовжена або яйцеподібна. Квітка складається з п'яти пелюсток. Тичинок десять, маточка одна. Горох належить до самозапильних рослин. Суцвіття гороху - китиця. Квітки розміщуються в пазухах листків по всій довжині стебла. У штамбових форм суцвіття мають скупчену форму і розміщені у верхній частині стебла.

Стебло гороху довге (80 - 130 см), що чіпляється, легко вилягає. Його висота залежить від сорту і умов вирощування. Є дуже низькорослі сорти, заввишки трохи більше 30 см, і поряд з ними дуже високорослі - досягають висоти 3 м.

Плід - боб, вельми різноманітної форми: з прямою, загостреною або притупленою верхівкою, довжиною 7 - 10 см.

Зерна гороху відрізняються за формою, забарвленням, вагою. Так, форма зерен гороху буває овальна, округла, здавлена, зморшкувата, поверхня буває гладкою або зморшкуватою; забарвлення - жовте, зелене, помаранчево-жовте.

Вага 1000 зерен гороху коливається від 40 до 400 г. Для продовольчих цілей обробляють сорти переважно вагою 1000 зерен від 150 до 400г.

У гороху відзначають наступні фази розвитку: сходи, бутонізація, цвітіння і дозрівання [ 5, 10].

## 1.2 Вимоги гороху до тепла

Горох - холодостійка культура. У польових умовах набування і проростання зерен починається при температурі 2 - 5 °С. З підвищенням температури до 8 - 10°С зерна проростають за 4 - 6 днів.

Сходи з'являються при накопиченні сум ефективних температур (вище 3 °С) 110 °С і без значних пошкоджень можуть переносити заморозки до -6 - 8 °С.

За даними С.Д. Умнікова, оптимальна температура проростання гороху - 18 ° С, при 30 °С відсоток схожості значно знижується. Для проростання зерна гороху потребують 110 - 115% води від своєї ваги, а мозкові сорти - до 150%.

Вивчення темпів розвитку рослин гороху проводилося рядом дослідників в різних природних зонах, в яких склалися різні агрометеорологічні умови. Результати їх вивчення дозволяють більш чітко виявити вплив окремих факторів на тривалість міжфазних періодів.

Д.П. Федюшина досліджувала вплив агрометеорологічних факторів в умовах Північного Казахстану на темпи розвитку і врожайність гороху сорту Торсдаг [24, 25]. Встановлено, що вплив температури повітря на розвиток гороху в період сівба - сходи при оптимальних запасах вологи в ґрунті(70 - 80% польової вологості) характеризується наступними даними, отриманими в досліді з різними термінами сівби:

Середня температура повітря за період, °С 12 14 16 18 20

Кількість днів від сівби до сходів 17 15 12 10 8

Таким чином, підвищення середньодобової температури повітря в межах від 12 до 20 °С сприяє скороченню тривалості періоду сівба - сходи від 17 до 8 днів, тобто, в цілому зростання температури в зазначених межах на кожен градус викликає скорочення періоду на один день.

Нижня температурна межа розвитку гороху в період сівба - сходи дорівнює 4°С. Сума ефективних температур, починаючи з вищевказаної межі, становить 140 °С.

За В.Ф. Паніною, сума позитивних температур повітря для другого періоду вегетації гороху - від сходів до цвітіння - становить близько 580 °С. Сума ж ефективних температур (вище 5 °С) приблизно дорівнює 400 °С [12, 13].

Дослідження Н.З. Іванової - Зубкової про вплив температури повітря на тривалість міжфазного періоду сходи - цвітіння у сортів гороху Торсдаг і Капітал в умовах нечорноземної зони показали, що між цими величинами існує зворотній зв'язок. При середній температурі повітря 18 - 20 °С тривалість періоду сходи - цвітіння становить 27 - 30 днів, а зниження температури до 10 - 13 °С збільшує тривалість періоду до 50 - 56 днів [7, 8].

Чим триваліший період сходи - цвітіння, тим більша сума температур повітря потрібна. Нижня температурна межа для цього періоду дорівнює 6 °С, сума ж температур вище даної межі становить 440 °С. Якщо в період розвитку гороху від сходів до кінця цвітіння запаси доступної вологи в шарі ґрунту 0 - 20 см не знижуються менше ніж 20 - 25 мм, а в шарі 0 - 50 см менше 50 мм, то тоді забезпечуються хороші врожаї зерна.

Цвітіння у гороху триває залежно від сорту і ґрунтово-кліматичних умов 10 - 40 днів. Найбільш швидко закінчується цвітіння у штаббових форм.

За спостереженнями В.Ф. Паніної, проведеними в Підмосков'ї, горох росте до кінця цвітіння. Чим кращі умови живлення та водопостачання, тим довше цвіте горох та вище піднімається стебло, а терміни дозрівання при цьому затягуються. Найбільш ефективно на ріст стебла впливають опади, що випали в першу половину вегетаційного періоду (сходи - цвітіння), куди входить більша частина критичного по відношенню до вологи періоду [13].

При температурі 35 °С процес зростання зупиняється, рослини знаходяться в пригніченому стані. Оптимальною для росту і розвитку гороху є температура 22 - 25 °С. Але при цьому при тривалому впливі температури 25 і більше градусів у поєднанні з нестачею вологи в ґрунті спостерігається опадання запліднених квіток, що призводить в кінцевому підсумку до суттєвого зниження врожаю.

Загальна потреба рослин гороху в теплі за весь період вегетації залежно від сорту і умов вирощування виражається сумою середньодобових температур рівною 1350 - 2800 °С.

Нижня температурна межа розвитку гороху в період сходи - початок цвітіння становить 3 °С.

Несприятливі температури різною мірою впливають на розвитку гороху в різні періоди вегетації. Вважається, що сходи гороху можуть переносити без пошкодження зниження температури повітря до - 5- 6 °С. Але навіть при пошкодженні заморозками рослина порівняно легко відновлюється за рахунок утворення бічних пагонів з пазушних бруньок.

Цілий ряд форм гороху гірського походження може переносити зимові умови в південних пунктах України за наявності достатнього

сніжного покриву. Так, наприклад, зразки гороху ВІР 1925, ВІР 3451, а також зимостійкий сорт гороху Австріанум та інші добре зимують в Узбекистані під шаром снігу 15 см, коли зниження температури повітря доходить до  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на поверхні ґрунту до  $-10,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сорти гороху відрізняються не тільки за стійкістю до низької температури, але і по відношенню до тепла в окремі періоди розвитку. Ряд південних форм гороху більш вимогливі до тепла при перших фазах розвитку, інші форми - в період від цвітіння до дозрівання. При підборі батьківських форм для схрещування в процесі виведення нових сортів необхідно враховувати цю важливу біологічну властивість різних форм гороху.

### 1.3. Вимоги гороху до вологи

Горох відноситься до вологолюбивих культур. Для отримання високих врожаїв необхідна вологість ґрунту складає 70 - 80% НВ. Транспіраційний коефіцієнт залежить від сорту і погоди і коливається від 300 до 600. Багато сортів добре переносять надлишок вологи в ґрунті, але близькість ґрунтових вод несприятливо впливає на ріст і розвиток рослин. При хорошому розвитку кореневої системи посіви нормально переносять короткочасну ґрунтову посуху.

Найбільшу потребу у волозі горох відчуває в період від фази утворення суцвіть до цвітіння. Так як основна маса коренів гороху знаходиться в півметровому шарі ґрунту, факторами зволоження є опади і запаси продуктивної вологи у верхніх шарах ґрунту [2, 18].

На початку розвитку рослин головну роль відіграє волога орного шару ґрунту. Оптимальними вважаються запаси вологи в ґрунті в межах 70 - 80% НВ, тобто приблизно 30 мм продуктивної вологи в орному шарі і 50 мм в півметровому [26].

За даними Д.П.Федюшиної зниження запасів продуктивної вологи в орному шарі ґрунту з 30 до 20 мм викликає зниження густоти посіву рослин з 100 до 80 - 70 рослин на 1 м<sup>2</sup> в період формування репродуктивних органів, цей період вважається критичним по відношенню до вологи [24, 25].

Також Д.П. Федюшина зауважила, що запаси продуктивної вологи за вказаний період є головним фактором майбутнього врожаю. У роки з хорошим врожаєм гороху (більше 12 ц/га) запаси вологи в півметровому шарі ґрунту становили 50 - 80 мм. При запасах вологи рівних 45 - 65 мм врожай становив 8 - 12 ц/га, а при зниженні запасів до 33 - 55 мм врожай також знижувався до 8 ц/га.

Д.П.Федюшина вважає, що в посушливих умовах Північного Казахстану критичний період триває 20 - 10 днів до початку масового цвітіння і 10 днів після нього.

На думку А.М.Дрозда критичний період охоплює 20 днів до початку цвітіння, а протягом усього періоду від сходів до цвітіння відбувається інтенсивний ріст вегетативної маси, формування і розвиток репродуктивних органів рослин.

В.Ф.Паніна встановила для центральної частини Нечорноземної зони Росії тридцятиденний критичний період, що охоплює 20 днів до початку цвітіння і наступні 10 днів [13].

Горох найбільш вимогливий до вологи в перший період розвитку. Для того щоб зерна гороху набрякли і стали проростати, потрібно в середньому 100 - 110% води від ваги зерен. Щоб задовольнити цю біологічну властивість гороху, треба сіяти його якомога раніше, коли є достатній запас весняної вологи в ґрунті.

Про вимоги гороху до вологи можна судити за кількістю води, необхідної для створення сухої маси. На утворення 1 кг сухої речовини

горох витрачає від 235 до 1658 кг води залежно від різного забезпечення рослин всіма життєво необхідними умовами: певною температурою, світлом, поживними речовинами.

Наведені дані показують, з одного боку, високу вимогливість гороху до вологи, а з іншого свідчать про можливість обробітку його у відносно посушливих умовах.

Для набухання і проростання зерен гороху потрібно 110 - 115%, а мозкових сортів - до 150% води від їх маси. Найкращі умови для росту складаються при випаданні 450 - 600 мм опадів на рік, а вологість ґрунту повинна становити 70 - 80% найменшої вологоємності. Найбільш вимогливі рослини гороху до вологозабезпеченості у фазах бутонізації, цвітіння і формування бобів.

У посушливі роки тривалість вегетаційного періоду гороху може скорочуватися в півтора рази. Найбільш стійкими до посухи є ранньостиглі сорти, які встигають сформувати врожай, використовуючи зимові запаси вологи в ґрунті.

Незважаючи на те, що горох не відноситься до посухостійких культур, його можна вирощувати у відносно посушливих умовах. Це можливо завдяки глибокому проникненню в ґрунт добре розвиненої стрижневої кореневої системи. Транспіраційний коефіцієнт дорівнює 400 - 600. Внесення фосфорних і калійних добрив скорочує витрати води на 6 - 10%.

#### 1.4. Вимоги гороху до світла

Рослини гороху досить вимогливі до світла. При його нестачі вони витягуються, листки їх набувають світло-зеленого забарвлення,



послаблюються процеси фотосинтезу. Утворення бобів та зерна в них уповільнюється та затримується, внаслідок чого продуктивність рослин знижується. Загущення рослин у посівах також негативно позначається на врожайності гороху. У зв'язку з тим, що в південних районах у літній період температури ґрунту та повітря підвищені, а тривалість дня коротша, ніж в умовах Полісся, вегетаційний період рослин затримується. При штучному скороченні тривалості дня до 10 годин деякі сорти гороху не зацвітають [5].

Потреба в освітленості в різні фази розвитку у рослин неоднакова: у молодому віці вони краще переносять затінення, ніж у більш пізні періоди розвитку. Поряд з інтенсивністю освітлення на розвиток гороху великий вплив має його тривалість або співвідношення довжини дня і ночі. Горох пізньостиглих і середньостиглих сортів швидше розвивається, швидше зацвітає і рясніше плодоносить в умовах довгого літнього дня. У меншій мірі або зовсім не реагують на зміну довжини дня середньо- і ранньостиглі сорти.

Найбільш чутливий до світла горох в період формування і дозрівання плодів .

Змінюючи терміни і способи посіву, густоту посіву рослин, можна значною мірою регулювати світловий режим посіву. Фотоперіодична реакція гороху тісно пов'язана зі спектральним складом світла. У спектрі довгого дня переважають довгохвильові промені, це сприяє прискореному розвитку гороху і значно підвищує його урожай [8].

#### 1.5. Вимоги гороху до ґрунтів і елементів мінерального живлення

Горох – культура високородючих ґрунтів. Найвищі врожаї одержують на чорноземах, сірих лісових і дерново-підзолистих ґрунтах.

Реакція ґрунтового розчину (рН 6,8-7,4) має бути нейтральною. В ґрунті повинно бути достатньо гумусу, вапна, фосфору, калію та мікроелементів молібдену і бору. На важких, дуже щільних і кислих ґрунтах коренева система розміщується неглибоко, пригнічується життєдіяльність бульбочкових бактерій. Непридатні для вирощування гороху важкі, глинисті, кислі, перезволожені ґрунти. На легких, бідних ґрунтах горох посівний забезпечує низьку врожайність, вони більш придатні для вирощування гороху польового (пелюшки).

Для гороху малоприсадибні легкі піщані ґрунти, а також кислі і солонцюваті, занадто щільні глинисті ґрунти, солончаки.

Мінеральне живлення гороху відрізняється тим, що його коренева система має високу розчинюючу здатність, що дозволяє рослині використовувати важкорозчинні поживні мінеральні речовини [27].

Завдяки симбіозу рослин гороху і бактерій, культура отримує не тільки значну кількість азотистих речовин для утворення врожаю, але й залишає в ґрунті великі їхні запаси (до 80 - 100 кг/га). Однак було б помилкою вважати, що рослини гороху повністю забезпечуються азотом за рахунок діяльності азотфіксуючих бактерій. Основним джерелом азоту для рослин, особливо в період до цвітіння, служать ґрунтовий азот і азот, внесений з мінеральними добривами.

Критичним в сенсі потреби гороху в мінеральних добривах є період сходи – бутонізація [18].

Найкраще поглинання мінеральних речовин рослинами відбувається при температурі розчину 18 °С і трохи вище. При зниженні температури до 10 °С ступінь засвоєння поживних речовин різко зменшується, а при гострій нестачі води добрива навіть мають шкідливий вплив на ріст і розвиток рослин. Так, зниження продуктивної вологи в орному шарі до 19 мм ускладнює поглинання кореневою

системою гороху мінерального живлення, а при запасах вологи менше 10 мм мінеральні речовини практично не засвоюються.

Крім внесення основних добрив на врожай гороху позитивно впливає внесення мікроелементів, таких як марганець, молібден, бор.

Найбільш високі врожаї гороху одержують при посівах його на середнев'язних суглинках і супісках. На занадто щільних глинистих ґрунтах створюються несприятливі умови для росту гороху. Значною мірою цей негативний вплив щільних запливаючих ґрунтів викликається сильним пригніченням життєдіяльності бульбочкових бактерій, що поселяються на коренях гороху. Для його зростання необхідно створити певну рихлість ґрунту.

Вміст поживних речовин у ґрунті має вирішальний вплив на врожайність гороху. Тільки при достатній забезпеченості ґрунту поживними речовинами, особливо фосфором, калієм і кальцієм, створюються умови для отримання високого врожаю.

Ряд дослідників підкреслюють роль азотних добрив в збільшенні врожайності гороху. Разом з тим безпосередньо під горох, як правило, не слід вносити свіже гнойове добриво. В іншому випадку сильно розвивається зелена маса, яка приносить шкоду зернам.

## 1.6. Сорти гороху

Ознаки сортів гороху. По висоті стебла сорти гороху бувають: низькорослі - менше 50 см, середньорослі - від 100 до 150 см і високорослі - від 150 до 300 см. В умовах вологого клімату висота стебла одного і того ж сорту буває значно більше, ніж в умовах посушливого клімату [5, 6].

Число вузлів до першого бобу є більш стійкою сортовою ознакою, ніж інші. У скоростиглих сортів перша квітка і боб з'являються на 7 - 10-му вузлі, у середньостиглих - на 11 - 15-му, у пізньостиглих - на 15-му вузлі і вище.

Форма бобу - також відносно стійка сортова ознака. Розрізняють боби прямі, з тупою верхівкою, вигнуті зі спинної сторони, з тупою або гострою верхівкою.

Сорти гороху відрізняються також за забарвленням зерен. Горох продовольчого використання, має зерна з жовтим або жовто - рожевим забарвленням і гладкою поверхнею; рідше зустрічаються сорти з зернами зеленим або жовтим забарвленням. Зелені зерна можуть вицвітати (жовтіти) при перезріванні або висиханні на сонці.

Кількість білка в зернах піддається коливанням залежно від сорту і умов обробітку. Один і той же сорт гороху має більший відсоток білка при вирощуванні в більш південних і східних районах. Вміст білка підвищується також при внесенні добрив.

Вміст білка в зернах гороху сорту Олійний, вирощеного в різних умовах, коливалося від 25,7 до 33,4%, у сорту Капітал - від 23,6 до 27,2%.

Тривалість дозрівання також є сортовою ознакою. Скоростиглі сорти дозрівають протягом 60 - 75 днів, середньостиглі - 75 - 95 і пізньостиглі - 91 - 120 днів.

За період з 1993 по 2008 року до Державного реєстру сортів рослин, придатних для вирощування в Україні, внесено 43 сорти гороху посівного, при цьому 28 сортів (65,1%) з усієї зареєстрованої кількості - сорти вітчизняної селекції, 15 - сорти іноземного походження (34,9%).

Найбільш високоврожайними за кількістю зареєстрованих сортів гороху посівного були 2004, 2006 і 2008 роки (відповідно, зареєстровано: 6, 9 і 4 сорти).

Всі сорти гороху, зареєстровані в Україні, за тривалістю вегетаційного періоду розподілені на чотири групи: ранньостиглі: Елегант, Менгір; середньоранні: Дамір 2, Кардіфф, Луганський, Мадонна, Харківський еталонний, Явір; середньостиглі: Девіз, Дамир 1, Красноградський 8, Конто, Камерон, Кадді, Комбайновий 1, Лазер, Модус, Міленіум, Норд, Полтавець 2, Світ, Трудівник, Фаргус; середньопізні: Вінець, Дамір 3, Комет, Петроніум, Харді, Царевич.

По зонах вирощування сортів гороху посівного зернового напрямку використання розподіл сортів такий (П - Полісся, Л - Лісостеп, С - Степ): СЛП: Клеопатра, Оплот, Баритон, Профіт, Грегор, Отаман, Факел, Терно, Стабіль, Мадонна, Харді; СЛ: Кео, Кардіфф, Готівській, Магнат; СП: Девіз; ЛП: СВ.Кріста, Стартер, Улус, Явір, Ефектний; Л: Зіньковський, Модус; С: Харківський еталонний, Одорус; П: Світ [4].

*Одорус.* Високоврожайний сорт безлистого прямостоячого гороху. Зерно округлої форми, жовтого кольору, середніх розмірів. Середньостиглий, тривалість вегетаційного періоду 70 - 85 днів. Маса 1000 зерен 220 - 245 г. Середній урожай 1,18 - 2,18 т/га (сортовипробування проводилися в Одеській області Селекційно-генетичним інститутом, 2014 року).

*Світ.* Середньостиглий, тривалість вегетаційного періоду 82 - 85 днів. Висота рослин 62 - 65 см, стійкість до вилягання висока. Маса 1000 зерен 230 - 250 г. Середній урожай вдержавному сортовипробуванні за 2003 - 2004 роки в Лісостеповій зоні України склав 35,2 ц/га, в Степовій - 33,2 ц/га, в Поліссі - 36,2 ц/га. У 2004 році в екологічному випробуванні Селекційно - генетичного інституту зібрали 38,0 і 47,6 ц/га зерен при густоті посіву 1,2 і 1,4 млн. рослин /га відповідно. Кількість зерен в бобі - 6 - 7. Зерна сферичної форми, гладкі, жовті. Агротехнічні вимоги: звичайні для зони вирощування. Оптимальна норма висіву

становить 1,3 - 1,4 млн. схожих зерен на гектар. У Реєстрі сортів рослин України з 2006 року.

*Оплот.* Сорт зернового використання, середньостиглий. Тривалість вегетаційного періоду 79-85 днів. Маса 1000 зерен 260-280 г. Вміст білка в зернах 20-22%. Сорт посухостійкий, стійкий до вилягання і придатний до збирання прямим комбайнуванням, вимагає своєчасного прибирання. У конкурсному сортовипробуванні IP ім. В.Я. Юр'єва максимальна врожайність по сорту була отримана в 2008 році і склала 5 т/га. Внесений до Реєстру сортів рослин України в 2011 році.

*Девіз.* Сорт зернового використання, середньостиглий. Тривалість вегетаційного періоду 75 - 78 днів. Маса 1000 зерен 250-270 г. Вміст білка в зернах 20 - 23%. Сорт посухостійкий, стійкий до вилягання і придатний до збирання прямим комбайнуванням, але вимагає своєчасного прибирання. За даними польової кваліфікаційної експертизи по зоні Полісся в 2009 - 2010 роках, урожайність сорту в середньому склала 2,33 т/га, максимальна врожайність отримана в 2009 році - 3,37 т/га. По зоні Лісостепу середня врожайність - 2,52 т/га, максимальна - в 2009 році 3,72 т/га, була отримана на Білоцерківській ГСС Київського ГЦЕСР. На зоні Степу за 2009 - 2011 рр. середня врожайність склала 2,31 т/га, а максимальна - 3,38 т/га - у 2010 році на Кіровоградщині ГСС. Внесений до Реєстру сортів рослин України в 2007 році для зон Степу та Полісся, з 2010 року визнаний національним стандартом.

*Харківський Еталонний.* Середньоранній, тривалість вегетаційного періоду 74 - 83 дня. Кількість зерен в бобі 5 - 6, максимальне - 8. Засухостійкий. На державних сортовипробувальних станціях за роки випробування отримали урожай - 21,9 - 24,7 ц/га. Рекомендований для вирощування в зонах Степу, Лісостепу та Полісся. Виведений в інституті рослинництва ім. В.Я.Юр'єва методом складної гібридизації.

На базі безлистоного сорту Харківський вусатий створені сорти - Вусатий 82, Вусатий 86, Вусатий 90, Вусатий 93, Камертон і Ескіз, з яких до Державного реєстру сортів рослин України занесено сорти: Вусатий 82 (1993), Вусатий 90 (1994), Камертон ( 2005), Ескіз (2007). В Україні сорт Вусатий 90 визнаний національним стандартом. На основі сорту Вусатий 93 був створений зерновий безлистий сорт Харківський еталонний, який з 2004 року визнаний національним стандартом для всіх зон України. Весь селекційний матеріал лабораторії переведений на безлистий морфологічний тип і на його основі створено цілий ряд нових високопродуктивних і технологічних сортів Царевич, Чекбек, ЧБЛ - 5, Оплот, Отаман, Магнат, стійких до вилягання, які по урожаю зерна перевищують сорт Харківський еталонний.

*Кадді.* Середньостиглий, тривалість вегетаційного періоду 82 дні. Агротехніка звичайна для зони вирощування. За роки випробування на обласних державних центрах експертизи сортів рослин отримали середній урожай 34,5 ц/га. Вміст білка - 22,6%. Стійкий до посухи. Рекомендований для поширення в зоні Степу[20,22]..

### 1.7 Шкідники та хвороби гороху, заходи боротьби з ними

Горохова зернівка (*Bruchus pisorum* L.) - найнебезпечніший шкідник гороху. З яєчок, відкладених самкою горохової зернівки на поверхні зелених стулок бобів, розвиваються личинки. Вони проникають в боб, а потім всередину насіння, за рахунок яких і харчуються. Восени, а частіше наступної весни, дорослі жуки вилітають з насіння. В період утворення бобів жуки починають відкладати яєчка і знову вражають посіви гороху [3].

Горохова зернівка поширена в південних районах України і Степовій зоні.

Коренева гниль. Хвороба проявляється протягом вегетації. Найбільш небезпечна для сходів. Залежно від збудника хвороби розрізняють фузаріозну, ризоктоніозну, афноміцетну, аскохітозну та інші гнилі.

Фузаріозна гниль (*FusariumLink*) проявляється у вигляді побуріння і загнивання коренів від появи сходів до формування бобів. Уражаються основа стебла і тканини коренів, на яких у вологу погоду спостерігається білий або рожевий наліт з помаранчевими або рожевими подушечками.

Ризоктоніозна гниль (*RhizoctoniasolaniKuehn*) виявляється на підземній частині стебла, коріння у вигляді коричневих розпливчастих вдавлених плям, які можуть охоплювати стебло. Уражаються точки росту молодих корінців.

Афноміцетна гниль (*AphanomyceseuteichesDrechs*) характеризується розм'якшенням стебла на висоті 2-3 см над поверхнею ґрунту. Уражена тканина стає водянистою. Така ж картина і на коренях. Кора злегка жовтіє, потім буріє і відмирає. Коріння загнивають і залишаються в ґрунті при висмикуванні рослин.

Аскохітозна гниль (*Ascochytaipinodes L.*) проявляється у вигляді великих розпливчастих, неправильної форми плям. Прикоренева частина буріє і загниває, потім підсихає.

Кореневі гнилі - не найпоширеніші хвороби, які завдають великої шкоди посівам гороху. Кореневі гнилі різко зменшують поглинальну здатність коренів, а поразка судинної системи викликає інтоксикацію. Уражені рослини не плодоносять або формують щуплі зерна.

Аскохітоз. Особливо прогресує у вологі роки і при підвищеній



температурі повітря. Може вражати рослини протягом усієї вегетації, починаючи з фази сходів.

Іржа (*UromycespisiSchroet.*) На листках і стеблах гороху з'являються світло-коричневі, а пізніше темно-коричневі подушечки літніх і зимових спор збудника хвороби. Уражені рослини відстають у рості, листя передчасно засихають, зерно утворюється щупле. Більше уражуються пізні посіви. При значному ураженні рослин урожай гороху зменшується на 40-50% .

Розвиток хвороби найчастіше спостерігається при підвищеній температурі повітря і частих опадах, що характерно для центральних і західних областей України[3, 18].

## 2 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕПОВОЇ ЗОНИ УКРАЇНИ

Степова зона лежить на південь від Лісостепу і простягається до Азово-Чорноморського узбережжя і Кримських гір (рис.2.1). Вона витяглась із заходу на схід на 1 075 км, з півночі на південь - на 500 км. Степ займає 40 % території України. На природних особливостях степової зони позначилось її положення на півдні Східноєвропейської рівнини, де степові ландшафти сформувались в умовах неоднакової поверхні: південних схилів Придніпровської та Подільської височин, Причорноморської низовини, Донецької і Приазовської височин, Північнокримської рівнини. У східній частині абсолютні висоти території сягають найбільших показників - 367 м.

Клімат помірно континентальний. Степова зона виділяється найбільшими тепловими ресурсами і найменшою зволоженістю порівняно з іншими природними зонами країни, тому клімат степів найбільш континентальний з поміж інших екотопів України. З найбільшими в Україні різницями температур між зимою і літом. Річний радіаційний баланс коливається від 4 100 (на півночі) до 5 320 МДж/м<sup>2</sup> (на півдні). Завдяки цьому степова зона має найбільші теплові ресурси. Безморозний період триває 160 - 220 днів. Середні річні температури повітря змінюються з північного сходу на південний захід від 7,5 до 11 °С [ 1 ].

Середні липневі температури зростають у південному напрямі від 21,5 до 23 °С. Річні суми опадів зменшуються від 450 (на півночі) до 350-300 мм (на півдні). Характерною особливістю степових ландшафтів є висока випаровуваність (від 700 до 1 000 мм). Через недостатнє

атмосферне зволоження густота річкової сітки незначна. Стік формується за рахунок талих снігових вод.

Річна сума опадів зменшується від 450 до 300 мм, що є причиною маловодості річок, особливо влітку. Сніговий покрив нестійкий, частівідлиги взимку. Сніг лежить лише в окремі роки 1-2 місяці. Випаровуваність вологи суттєво перевищує кількість опадів, тому зволоження території скрізь недостатнє.

Рівнинність території степу, відкритість її холодним арктичним і жарким тропічним вітрам є причиною ранніх весняно-осінніх приморозків і суховіїв, небезпечних пилових бур («чорні бурі»), що руйнують та зносять родючий шар ґрунту. Особливо часті суховії в липні - серпні, часто зумовлюють посухи.

Природна рослинність зони переважно трав'яниста, збереглася головним чином на схилах долин та балок, а також у заповідниках (Український степовий, Асканія-Нова, Луганський). Деревна рослинність поряд з трав'янистою збереглася у Чорноморському біосферному заповіднику та в заповіднику Дунайські Плавні. Пересічна залісеність зони становить 3 %.

Степові ландшафти розвивались в умовах жаркого клімату з від'ємним балансом вологи. Зона належить до найосвоєніших - орні землі становлять понад 75 % її земельного фонду. Несприятливими для господарства чинниками є посушливість клімату, зливовий характер опадів, ерозія, пилові бурі, засоленість ґрунтів.

Геоструктурно степ на заході приурочено до Придобруджинського прогину, на південному заході і півдні до Причорноморської западини, Українського щита, південної частини Дніпровсько-Донецької западини, південно-західного схилу Воронезького масиву, Донецької складчастої

споруди, Причорноморської групи прогинів, Скіфської плити (на крайньому півдні).

Більша частина території поверхні степу складена антропогеновими відкладами, загалом лесовидними суглинками, в межах річкових терас - пісками та супісками. У степовій зоні знайдено значні поклади кам'яного вугілля (Донецький басейн), залізних, марганцевих, нікелевих, уранових і ртутних руд, солей, присутні поклади природного газу. Степова зона багата на різноманітні природні будівельні матеріали (вапняк, мергель, глини), лікувальні грязі.

Річкова сітка сформувалась в умовах недостатнього зволоження, тому її густота незначна. Є райони, де поверхневі води стікають допадів. Стік формується в основному за рахунок талих снігових вод (до 80 %). Степові річки характеризуються короткочасною і високою весняною повінню та низькою літньою меженню. Рівні річок можуть різко змінюватись влітку під час злив. Великі річки мають мало приток. Мінералізація річкових та ґрунтових вод висока. Найбільші річки є транзитними: Дніпро, Південний Буг, Сіверський Донець, Дністер, Дунай із притоками. Притоки Дніпра - Оріль, Самара, Інгулець, а також Інгул, Кальміус, Молочна, Берда повністю формують свій стік у межах зони. Пересічна густота річкової мережі становить 0,2-0,1 км/км<sup>2</sup>. Річки степів маловодні, особливо влітку у верхів'ях вони часто пересихають. Місцевий стік формується за рахунок талих снігових вод.

Озера здебільшого лиманні, деякі, внаслідок великої випаровуваності або ж зв'язку з морем, солоні (Сасик (Кундук), Шагани, Алібей). У дельті Дунаю багато прісних озер (Ялпуг, Кагул та ін.), а на узбережжі Чорного моря - солоних озер-лиманів (Дністровський, Хаджибейський, Куяльницький, Тилігульський, Молочний). На Дніпрі у другій половині ХХ століття збудовано каскад штучних водойм -

водосховищ. Річкові та ґрунтові води високомінералізовані. Боліт мало, переважно заплавні.

Рельєф рівнинний, неоднорідний, з горбами, ярами й балками. Поширені форми флювіального рельєфу, зокрема яри, балки талощини. Для Донецького кряжу характерні гриви - вузькі видовжені підняття. На півдні низовин поширені поди (або степові блюдця) - неглибокі овальні зниження з плоским дном.

Ґрунтовий покрив представлений чорноземами звичайними та південними, що мають високу природну родючість, які разом становлять 90% площі природної зони. На півдні чорноземи переходять у каштанові ґрунти. У районі Сиваша попадаються солончаки і солонці. У заплавах річок поширені лучні ґрунти, а на Лівобережжі нижнього Дніпра простягаються Олешківські піски.

Відмінності ландшафтів пояснюються неоднаковим співвідношенням тепла і вологи, характером ґрунтів і природної рослинності, особливостями природокористування.

Вступу можна виділити залежно від кліматичних і ґрунтових умов кілька смуг. З півночі на південь степова рослинність значно змінюється.

В цілому фізико-географічний поділ має такий вигляд: степова зона поділяється на підзони, а ті, у свою чергу, поділяються на краї (провінції).

Північностепова підзона

*Провінції:* Дністровсько-Дніпровська північностепова, Лівобережно-Дніпровсько-Приазовська північностепова, Донецька північностепова, Задонецько-Донська північностепова.

Для північної, вологішої частини степу типовий різнотравний типчаково-ковиловий степ, пов'язаний зі звичайними середньогумуснимичорноземами. Для нього типовий буйний розвиток

щільнодернинних вузьколистих трав (ковили, типчаку, кипцю) і різнотрав'я (шавлія поникла, вероніка, горицвіт жовтий, степові тюльпани та ін.). Навесні спершу зацвітають тюльпани, шафран, гіацинти, пізніше - горицвіт жовтий, степові півники і фіалки, згодом - ковила, півонія тонколиста, шавлія, вика, лабазник, катран, волошки, льон австрійський. З середини літа степ вигоряє, але восени, завдяки дощам, зеленіє від мохів ще раз.

Доволі поширені чагарники (терен, дереза, мигдаль, степовий бобівник й інші), байракові, а на піщаних надрічних терасах соснові ліси. Майже повністю розораний. Первісна рослинність збереглася у заповідниках: Хомутівському і Стрілецькому степах, на Кам'яних могилах.

#### Середньостепова підзона

*Провінції:* Причорноморська середньостепова.

Далі на південь, майже до берегів Чорного і Азовського морів, поширений посушливий типчиново-ковиловий степ на менш родючих південних чорноземах і темно-каштанових ґрунтах. Рослинний покрив розріджений. У його рослинності переважають вузьколисті сухолюбні трави (ковили, тирса, типчина) з невеликою домішкою ксерофітних видів різнотрав'я кермек, маруна, грудниця волохата; деякі види з матовим забарвленням і опушеним листям (шавлія, коров'як, синяк тощо). На весні у степу багато ефемерів і ефемероїдів. У цій смузі розташований заповідник Асканія-Нова.

#### Південностепова (сухостепова) підзона

*Провінції:* Причорноморсько-Приазовська сухостепова, Кримська південно-степова).

У найсухішій смузі над морем (Причорномор'я, Приазов'я і Кримська рівнина) поширений сухий полиново-злаковий степ з темно-

каштановими та каштановими солонцюватими ґрунтами, які нерідко чергуються з солонцями і солончаками. Рослинне покриття утворюють житняк, типчина, іноді тирса, з різнотрав'я - полини (Бошняка і кримський) та інше. На крайньому півдні великі ділянки займають солончаки із своєрідною рослинністю (прибережниця солончакова, солерос трав'янистий), що має м'ясисті стебла і маленькі м'ясисті листочки. Росте також нехворощ чорна, хрінниця жовта, що утворюють окремі острівці, що чергуються з голими піскуватими місцями[1].

### 3 МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГОРОХУ

Продукційний процес рослин (ППР) - це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, з яких фундаментальними є фотосинтез, дихання і зростання, в ході яких відбувається формування врожаю. ППР залежить від умов зовнішнього середовища і сам перетворює середовище, в основному через архітектоніку, газообмін і транспірацію фітоценозу [ 14-17].

Сучасні експериментальні та теоретичні дослідження Х. А. Молдау (1985) Дж. Х. М. Торнлі (1982) та ін. дозволили розширити наші знання про добову і онтогенетичну динаміку фондів.

Ріст - це складова частина продукційного процесу, яка супроводжується збільшенням маси і розмірів органів, органел і живого організму в цілому. Найбільш елементарний показник зростання фітомаси – це приріст, тобто різниця між сухою фітомасою за визначений відрізок часу:

$$\Delta M = M_2 - M_1. \quad (3.1)$$

Приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин, оскільки не враховує хімічний склад фітомаси. Приріст сухої маси відбувається за якийсь інтервал часу  $\Delta t$  тому вживається поняття абсолютної швидкості росту:

$$\Delta M / \Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \quad (3.2)$$

і відносного приросту:

$$R_r = (M_2 - M_1) / [\bar{M}(t_2 - t_1)], \quad (3.3)$$

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

При аналізі приросту біомаси використовується і величина  $E_{n.ф.}$ , яка розраховується за формулою:



$$E_{n.ф.} = \frac{1}{\bar{L}_0} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (3.4)$$

де  $\bar{L}_0$  – середня сумарна площа листя рослини за період  $\Delta t$ .

Величина  $E_{n.ф.}$  названа чистою продуктивністю фотосинтезу посівів. Вона широко використовується для характеристики фотосинтетичної активності листкової поверхні.

За період вегетативного росту і в оптимальних умовах збільшення структурної маси відбувається пропорційно самій масі (стадія експоненціального росту). Ріст окремих органів рослини в оптимальних умовах протягом всього онтогенезу має характерні для даного виду закономірності, що задані генетичним кодом рослини. При нестачі будь-якої фондової речовини ріст обмежений і пропорційний концентрації фондової речовини. При повних фондах лімітування росту фондами відсутнє.

Крім фондів вуглеводів і N, P, K, істотний вплив на ріст проявляють температура і водний режим рослин. Ріст відбувається в певному температурному інтервалі, в середині цього інтервалу при оптимальній температурі ріст досягає максимальної швидкості. При великих значеннях водного потенціалу вода не лімітує його ріст, однак при погіршенні водного режиму ріст рослини буде затримуватись і припиниться, якщо водний потенціал досягне деякого критичного значення.

Найвища продуктивність посівів сільськогосподарських культур може бути досягнута при наступних умовах:

- формується оптимальний за розмірами і по тривалості роботи фотосинтетичний апарат;
- досягається найкраща по інтенсивності і по якісній спрямованості його робота в різних фазах росту та розвитку рослин;

- забезпечується найкраще використання продуктів фотосинтезу з найменшими їх витратами на процеси загального метаболізму і росту;
- хід цих процесів підтримується оптимальним співвідношенням чинників середовища: світла, тепла, вологи, вуглецю, елементів мінерального живлення.

Передумовою для створення математичних моделей ППР є знання закономірностей залежності вищеназваних фундаментальних процесів від чинників зовнішнього середовища і від внутрішніх біологічних, видових та адаптивних особливостей рослин у взаємозв'язку і в динаміці онтогенезу.

### 3.1. Концепція моделювання

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів стимулювала інтенсивний розвиток робіт по моделюванню продукційного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики представляли довгоперіодні динамічні моделі формування урожаю. Моделювання дозволило узагальнити значну кількість даних, що відображають вплив чинників зовнішньої середовища на ряд найважливіших процесів життєдіяльності рослин, складна сукупність яких являє собою процес формування урожаю.

Динамічні моделі продуктивності дозволяють відтворити ефект впливу агрометеорологічних умов на основні показники фотосинтетичної діяльності посівів і реально оцінити міру цього впливу. Такий підхід виявився особливо плідним. На цій основі відкрилася можливість приступити до створення методів оцінки агрометеорологічних умов росту сільськогосподарських культур, прогнозування їх врожайності.

Процес формування урожаю розглядається нами як складна сукупність цілого ряду фізіологічних процесів, інтенсивність яких визначається не тільки чинниками зовнішнього середовища та біологічними особливостями рослин, але і взаємозв'язком між самими процесами.

Виконана робота ґрунтується на розвитку та застосуванні базової динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур [14-16].

Структура моделі визначається, виходячи з закономірностей формування гідрометеорологічного режиму в системі «ґрунт – рослина – атмосфера» та біологічних уявлень про ріст і розвиток гороху під впливом чинників зовнішнього середовища. У основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового та водного балансів та балансу біомаси у рослинному покриві.

Основні концептуальні положення такі:

- ріст та розвиток рослин визначається генотипом і чинниками зовнішнього середовища;
- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу з врахуванням необхідності в асимілятах для росту надземної і підземної частин рослин;
- моделюється радіаційний, тепловий і водний режим системи «ґрунт – рослина– атмосфера»;
- моделюється природне старіння рослин та при стресових умовах, перетік асимілятів з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи;
- моделюється вплив агрометеорологічних умов за основні міжфазні періоди гороху на формування врожаю.

Розглядається, що рослина складається з чотирьох функціонально пов'язаних узагальнених органів: листя -  $l$ , стебла -  $s$ , коріння -  $r$ ,

репродуктивні органи (боби) -  $p$ . В бобі розглядається формування зерна -  $g$ . Загальна суха біомаса рослин  $\bar{M}$  складається з підсумку біомаси окремих органів:  $m_t, m_s, m_r, m_p$ .

Динамічна модель формування врожаю гороху складається з п'яти блоків (рис. 3.1):

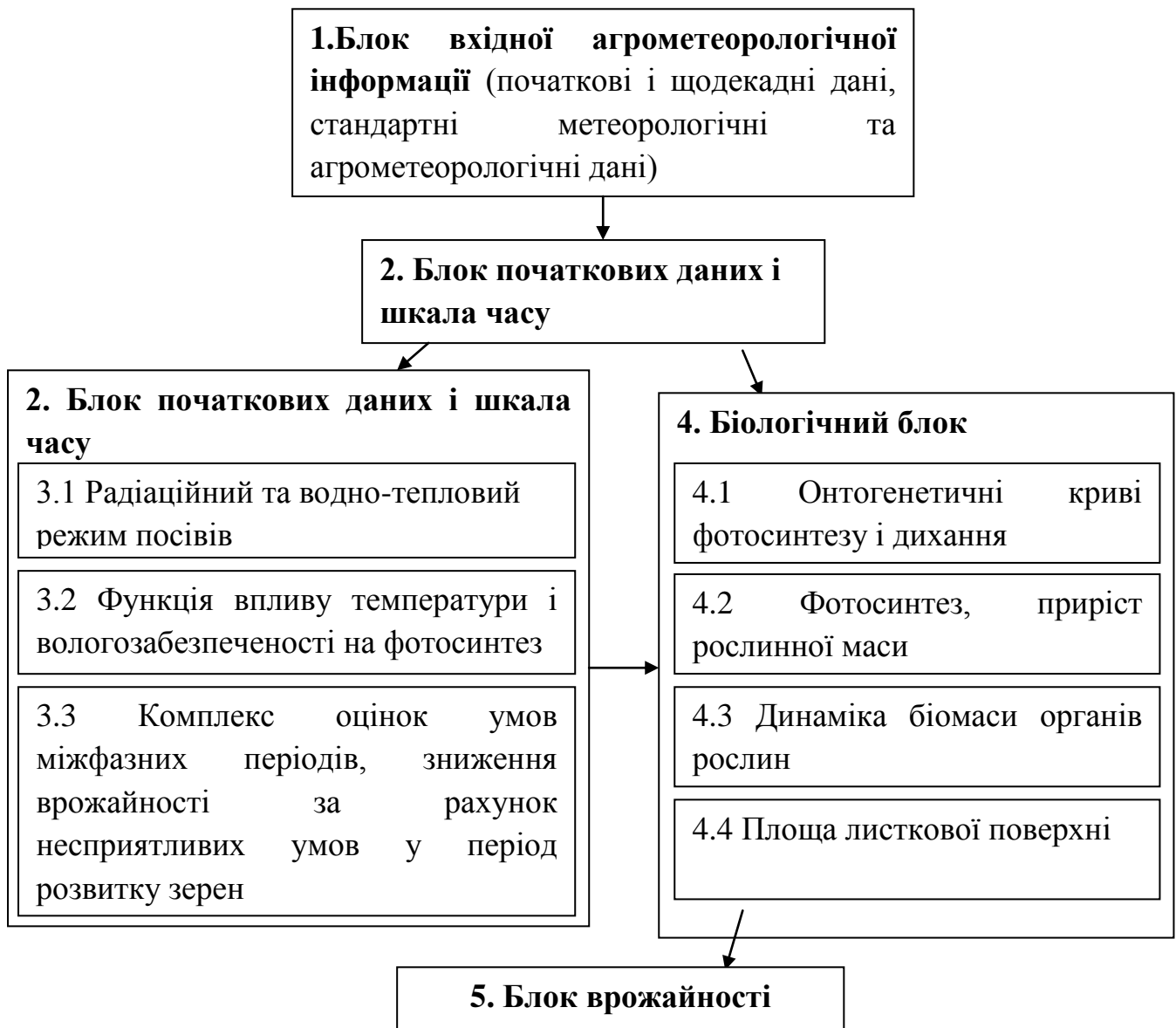


Рисунок 3.1 – Блок-схема динамічної моделі формування врожайності гороху

1. блок вхідної агрометеорологічної інформації;
2. блок вихідних даних і шкали часу;
3. блок факторів навколишнього середовища;
4. біологічний блок;
5. блок врожайності.

У свою чергу блок факторів навколишнього середовища включає три підблока: перший (3.1) - радіаційний і водно-тепловий режими посівів, другий (3.2) - функція впливу температури повітря і вологозабезпеченості посівів на фотосинтез, третій (3.3) - комплекс оцінок умов формування врожайності в окремі міжфазні періоди, посушливих явищ, стан посівів. Біологічний блок включає в себе чотири підблоки: перший (4.1) - онтогенетичні криві фотосинтезу і дихання, другий (4.2) - фотосинтез, дихання і приріст рослинної маси, третій (4.3) - динаміка біомаси органів рослини, четвертий (4.4) - площа листової поверхні .

## 3.2. Опис структури моделі формування врожайності гороху

### 3.2.1. Блок вхідної агрометеорологічної інформації

Передбачається використання стандартної декадної агрометеорологічної інформації: температура повітря; дефіцит насичення повітря; кількість опадів; кількість годин сонячного сяйва; запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-20 та 0-100 см; рівень ґрунтових вод; характеристик агрофізичного та агрохімічного стану ґрунту, водного режиму ґрунтів.

### 3.2.2. Блок початкових даних та шкали часу

Виконуються розрахунки початкових характеристик рослинного покриву (розмірів біомаси окремих органів рослин – листя, стебел, коренів, бобів та площі асимілюючої поверхні). Проводиться розрахунок часової шкали та суми ефективних температур. Модель має дві шкали часу: декади від початку вегетації культури та сум ефективних температур, що накопичуються від початку вегетації.

Сума ефективних температур розраховується з врахуванням середньої за декаду температури повітря, біологічного нуля гороху та тривалості декад вегетації

$$\sum_{n.veg.}^{в.ст.} t_{ef.} = (t_{дек.} - t_{б.н.}) n_{дек.}, \quad (3.5)$$

де  $\sum_{n.veg.}^{в.ст.} t_{ef.}$  – сума ефективних температур;

$t_{дек.}$  – середня за декаду температура повітря;

$t_{б.н.}$  – біологічний нуль гороху;

$n_{дек.}$  – кількість днів в розрахунковій декаді вегетації.

Розраховується тривалість світлого часу доби. Розрахунок схилу Сонця виконується за допомогою виразу

$$\delta = \{-23,4 \cos[2,31428(t_o + qi + 10) / 365]\} 0,017453, \quad (3.6)$$

де  $\delta$  – схил Сонця;

$t_o$  – кількість днів від 1-го січня до дати початку вегетації гороху;

$qi$  – кількість днів від дати початку вегетації гороху наростаючим підсумком.

Час заходу Сонця знаходиться як

$$\tau_3 = 12 + 3,8197 \arccos(-A/B), \quad (3.7)$$

де  $\tau_3$  – час заходу Сонця;

$A$  та  $B$  – проміжні астрономічні характеристики, що визначаються за допомогою виразів

$$A = \sin (0,017453\varphi) \sin\delta, \quad (3.8)$$

$$B = \cos (0,017453\varphi) \cos\delta, \quad (3.9)$$

де  $\varphi$  – широта пункту, по якому ведеться розрахунок.

Час сходу Сонця та тривалість світлої частини доби розраховується за співвідношеннями

$$\tau_6 = 24 - \tau_3, \quad (3.10)$$

$$\tau_{\text{дн}} = \tau_3 - \tau_6, \quad (3.11)$$

де  $\tau_6$  – час сходу Сонця;

$\tau_{\text{дн}}$  – тривалість світлої частини доби.

### 3.2.3. Блок факторів навколишнього середовища

#### *Підблок радіаційного та водно-теплого режимів посівів*

Для розрахунку сумарної сонячної радіації, що приходить на верхню межу рослинного покриву гороху, використовується формула С.І. Сівкова [20]

$$Q_o^j = 12,66(SS^j)^{1,31} + 315(A^j + B^j)^{2,1}, \quad (3.12)$$

де  $Q_o$  – інтенсивність сумарної сонячної радіації надверхньою межею рослинного покриву;

$SS$  – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

$j$  – порядковий номер розрахункової декади.

Інтенсивність сумарної сонячної радіації, що приходить на поверхню листя усередині рослинного покриву визначимо за співвідношенням

$$Q_L = Q_o a_Q (1 - \alpha_{LS}), \quad (3.13)$$

де  $Q_L$  – інтенсивність сумарної сонячної радіації на поверхні листя усередині рослинного покриву;

$a_Q$  – функція пропускання сумарної радіації рослинним покривом;

$\alpha_{LS}$ , – альbedo рослинного покриву.

Функцію пропускання сумарної радіації знайдемо за формулою Тоомінга і Росса [19, 21-23]:

$$a_Q = (1 - c_2) \exp\left(-\frac{k_s^L L}{\sinh_o}\right) + c_2 \exp\left(-c_3 \frac{k_s^L L}{\sinh_o}\right), \quad (3.14)$$

де  $c_2$  – емпірична постійна, що характеризує долю розсіяної радіації в потоці сумарної радіації;

$c_3$  – емпірична постійна, що характеризує інтенсивність розсіювання фітоелементами;

$k_s^L$  – емпірична постійна, що характеризує вплив геометричної структури рослинного покриву на пропускання сонячної радіації.

$L$  – відносна площа листя;

$h_o$  – висота Сонця.

Альbedo рослинного покриву визначимо по формулі Ю.К. Росса [19]:

$$\alpha_{LS} = \alpha_{Lh_o} + (\alpha_S - \alpha_{Lh_o}) \exp[-L(1 + ctgh_o / \pi)], \quad (3.15)$$

де

$$\alpha_{Lh_o} = \frac{0,4084}{1 + 1,1832 \sinh_o}. \quad (3.16)$$

Розрахунок інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) виконаємо за співвідношенням

$$I_{ФАР} = (a_{ФАР} Q_L) / \tau_{ФАР}, \quad (3.17)$$

де  $a_{ФАР}$  – коефіцієнт переходу від сумарної сонячної радіації до ФАР.

Кількість опадів, які досягли поверхні ґрунту, знаходиться як:

$$P_s = P_o - P_L, \quad (3.18)$$



де  $P_o$  – кількість опадів;

$P_L$  – кількість опадів, перехоплених рослинним покривом, що залежить від розмірів листкової поверхні.

$$P_L = 0,2L. \quad (3.19)$$

Випаровуваність з посівів гороху визначимо за рівнянням:

$$E_{pot} = 16,7(a_{хар.} Q_o - n_{дек.} b_{хар.}), \quad (3.20)$$

де  $E_{pot}$  - випаровуваність посівів гороху;

$a_{хар.}$  і  $b_{хар.}$  - параметри рівняння Харченко для гороху.

Сумарне випаровування посівів гороху визначимо за методом С.І. Харченко:

$$E_{act.} = \frac{2W + P_s + P_{зр.}}{1 + \frac{2W_{HB}}{\beta_{хар.} E_{pot}}}, \quad (3.21)$$

де  $E_{act}$  - сумарне випаровування посівів гороху;

$P_{зр.}$  - норма вегетаційного поливу;

$W_{HB}$  - найменша вологоємність в метровому шарі ґрунту;

$\beta_{хар.}$  - параметр, який відображає особливості часового ходу випаровування в залежності від фази розвитку та біологічних особливостей культури;

$W$  - запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту.

Рівень ґрунтових вод визначається за допомогою методу, викладеному в:

$$H_{gr.w.}^{j+1} = H_{gr.w.}^j + \Delta H_{gr.w.}^j, \quad (3.22)$$

$$\Delta H_{gr.w.} = I_w / k_w 10 \quad (3.23)$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -V_p / k_w 10, \quad (3.24)$$

де величини  $I_w$  і  $V_p$  визначаються як

$$I_w = W_n + P_o - E_{pot} - W_{HB}, \quad (3.25)$$

$$0 \leq W_{FC} - (W_n + P_o - ET_{act}) \geq V_p \leq V_{max}, \quad (3.26)$$

де  $H_{gr.w.}$  – рівень ґрунтових вод;

$I_w$  – інфільтрація;

$V_p$  – розрахункова величина підживлення в зону аерації із ґрунтових вод;

$W_n$  – початкова вологість ґрунту;

$ET_{act}$  – сумарне випаровування;

$V_{max}$  – максимально можливе підживлення;

$k_w$  – коефіцієнт водовіддачі.

Для розрахунку запасів продуктивної вологи скористаємось рівнянням водного балансу:

$$W^{j+1} = W^j + P_S^j + P_{zp.}^j - E_{act}^j - I_w^j + V_p \quad (3.27)$$

Величина гідротермічного показника Селянінова ( $ГТК$ ) розраховується щодакдно при середній температурі повітря за декаду вище  $10^\circ\text{C}$  як співвідношення:

$$ГТК = P_s / (0,1 t_{дек.} n_{дек.}). \quad (3.28)$$

*Підблок функцій впливу температури повітря та вологозабезпеченості посівів на фотосинтез*

Дія температури на фотосинтез пов'язана з її впливом на темнові реакції та на повторні процеси, тоді як фотохімічний процес майже не залежить від температури. Поглинання і відновлення двоокису вуглецю при підвищенні температури прискорюються, поки не буде досягнутий деякий оптимальний рівень, який зберігається в досить широкому діапазоні температур. Тільки при високих температурах, коли починається інактивація ферментів, а також порушується узгодженість різних реакцій, фотосинтез швидко припиняється.

При підвищенні температури темнове дихання експоненціально зростає. Нижче за  $5^\circ\text{C}$  енергія активації для різних обмінних реакцій, що беруть участь в диханні, велика, тому високий і коефіцієнт  $Q_{10}$ .

Утропічних рослин  $Q_{10}$  при температурі нижче за  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  стрибкоподібно збільшується до 3 і більш. Вище за  $25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$  температурний коефіцієнт дихання знижується у більшості рослин до 1,5 і менш. Нарешті, при дуже високих температурах біохімічні процеси протікають так швидко, що постачання субстратом і метаболітами не може устигати за обміном речовин, і інтенсивність дихання швидко падає.

Залежність нетто-газообміну від температури визначається різницею між швидкостями фотосинтетичного засвоєння  $\text{CO}_2$  і процесів дихання при тій же температурі. Крім того, позначається вплив температури на ширину продихових щілин. Підвищення температури повітря до зони оптимуму посилює нетто-фотосинтез, потім – зупиняє цей процес. Ці області визначаються трьома основними точками: нижньою межею (температурним мінімумом) нетто-фотосинтезу, температурним оптимумом і верхньою межею (температурним максимумом) – нетто-фотосинтезу.

Функція впливу температури повітря на інтенсивність фотосинтезу так звана "температурна крива фотосинтезу" визначається як

$$\Psi_{\Phi} = \begin{cases} 13,7 \sin(0,0774x_2) & \text{при } t < t_{opt1}^{\Phi} \\ 1 & \text{при } t_{opt1}^{\Phi} \leq t_n \leq t_{opt2}^{\Phi} \\ 1,1323 \cos(1,5705x_3) - 0,1323 & \text{при } t > t_{opt2}^{\Phi} \end{cases} \quad (3.29)$$

$$x_2 = (t_n - t_o^{\Phi}) / (t_{opt1}^{\Phi} - t_n) \quad (3.30)$$

$$x_3 = (t_n - t_{opt2}^{\Phi}) / (t_{max}^{\Phi} - t_{opt2}^{\Phi}) \quad (3.31)$$

де  $\Psi_{\Phi}$  - температурна крива фотосинтезу;

$t_n$  - температура повітря;

$t_o^\Phi$ ,  $t_{opt1}^\Phi$ ,  $t_{opt2}^\Phi$ ,  $t_{max}^\Phi$  - відповідно початкова, нижня межа і верхня межа оптимальної і максимальна температура процесу фотосинтезу.

Величини  $t_{opt1}^\Phi$  і  $t_{opt2}^\Phi$  є функціями біологічного часу. У загальному вигляді вони описуються рівняннями:

$$t_{opt1}^\Phi = B_{01} + B_1 x_4 + B_2 x_4^2 + B_3 x_4^3 \quad (3.32)$$

$$t_{opt2}^\Phi = B_{02} + B_4 x_4 + B_5 x_4^2 + B_6 x_4^3 \quad (3.33)$$

$$x_4 = \Sigma t / \Sigma t_{cm}. \quad (3.34)$$

У листостеблових рослин водний дефіцит діє передусім на устячка, звуження яких обмежує CO<sub>2</sub>-газообмін. При більш сильному обезводнюванні погіршується стан набухання протоплазми, а в результаті і продуктивність фотосинтезу. Як правило, високий рівень поглинання CO<sub>2</sub> підтримується тільки при хорошому водопостачанні; вже при невеликому дефіциті води воно починає знижуватися, а при подальшій втраті вологи зрештою повністю припиняється

Врахування впливу вологозабезпеченості на процес фотосинтезу проводиться двома способами – через функцію впливу вологості ґрунту:

$$\gamma_\Phi = \begin{cases} 2,187x_5 - 1,163x_5^2 & \text{при } W < W_{opt1} \\ 1 & \text{при } W_{opt1} \leq W \leq W_{opt2} \\ -0,654 + 3,824x_6 - 2,633x_6^2 + 0,467x_6^3 & \text{при } W > W_{opt2} \end{cases} \quad (3.35)$$

$$x_5 = W / W_{opt1} \quad (3.36)$$

$$x_6 = W / W_{opt2} \quad (3.37)$$

та через відношення сумарного випаровування до випаровуваності:

$$e_\Phi = E_{act} / E_{pot}, \quad (3.38)$$

де  $\gamma_\Phi$  - функція впливу вологості ґрунту на інтенсивність фотосинтезу;

$W$  - запаси продуктивної вологи у ґрунті;

$W_{opt1}$  і  $W_{opt2}$  - нижня та верхня межа оптимальних значень запасів продуктивної вологи в ґрунті;

$e_\phi$  - відносна вологозабезпеченість.

Розрахунок узагальненої функції впливу вологозабезпеченості на фотосинтез  $FW$  проводиться по формулі:

$$FW = (\gamma_\phi e_\phi)^{0,5}. \quad (3.39)$$

Аналогічно визначимо узагальнену функцію впливу термічного режиму та вологозабезпеченості  $FTW1$  на фотосинтез:

$$FTW1 = (\psi_\phi FW)^{0,5}. \quad (3.40)$$

Введемо корекцію до цієї функції на рівень температури повітря в поєднанні з вологозабезпеченістю:

$$FTW2 = \begin{cases} FTW1[1 + (1 - \Psi_\phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n < t_{opt1} \\ FTW1 & \text{при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW1[1 - (1 - \Psi_\phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n > t_{opt2} \end{cases} \quad (3.41)$$

Функція  $FTW2$  нормована і змінюється від 0 до 1.

*Підблок комплексу оцінок умов формування врожайності в окремі міжфазні періоди*

Очікувану кількість зерен в бобі можна розрахувати за формулою:

$$n_g = 0,96 \cdot n_g^{\max} \cdot 10^{-0,70 \left( \frac{-12}{10} \right)^2}, \quad (3.42)$$

де  $n_g$  – очікувана кількість зерен в бобі;

$n_g^{\max}$  – максимальна кількість зерен, що формується при в сприятливому рівні температури за період;

$t_1$  – середня температура повітря за період до і за декаду після цвітіння.

### 3.2.4. Біологічний блок

#### *Підблок онтогенетичних кривих фотосинтезу та дихання*

Фотосинтетична здатність і активність дихання – величини хоч і характерні для кожного виду рослин, але не постійні. Газообмін однієї і тієї ж рослини змінюється в процесі індивідуального розвитку і в зв'язку з сезонними і навіть добовими коливаннями активності.

Молоді рослини дихають більш інтенсивно, ніж старі. Особливо високий рівень дихання спостерігається в органах, які активно ростуть: для здійснення великої синтетичної роботи протоплазма споживає адезинотрифосфат (АТФ) в кількостях, що значно перевищують витрати при звичайній життєдіяльності. За допомогою механізму зворотного зв'язку клітина здатна стимулювати утворення АТФ в процесі дихання у відповідності зі своїми потребами. У паростках і кінчиках коріння, при розпусканні листя і в плодах, що розвиваються, дихання, що забезпечує ріст, в 3-10 раз більше звичайного дихання, підтримуючого життєдіяльність. По мірі диференціювання і дозрівання тканин інтенсивність дихання знову сильно знижується.

У ході розвитку змінюється і фотосинтетична здатність рослин. У трав'янистих рослин окреме листя на пагонах значно розрізняється в залежності від часу розгортання і міри диференціювання, особливо у видів із швидким розвитком. З розгортанням листя швидко розвивається здатність до інтенсивного засвоєння  $\text{CO}_2$ . Повністю розвинене молоде листя має найвищу продуктивність, але вже через декілька днів або тижнів їх фотосинтетична здатність слабшає і продовжує неухильно знижуватися із збільшенням віку листя.

Зміна інтенсивності фотосинтезу в онтогенезі в динамічних моделях продукційного процесу рослин не враховується зовсім або

враховується через емпіричні коефіцієнти. Однак з літератури добре відомо, що фотосинтетична активність листя різна на різних етапах онтогенезу окремого листка і рослини в цілому.

У молодого листя будь-якого ярусу, що формується, фотосинтетичний апарат сформований ще неповністю і не забезпечує високої інтенсивності фотосинтезу. Листя, яке є фотосинтетично активним в більш пізні фази онтогенезу, відрізняється структурними і фізіологічними характеристиками, оптимальними для їх фотосинтетичної активності. Це листя середнього ярусу. Така різноманітна властивість листя визначається неодноразовістю їх появи і тим, що їх розвиток пов'язаний з розвитком рослини в цілому.

Врахування зміни інтенсивності дихання в онтогенезі дуже важливо, оскільки рівень дихального газообміну відображає, нарівні з біохімічними особливостями протопласту, і ряд анатомо-морфологічних властивостей органу або тканини. Біохімічна активність і структура тканин схильна до дуже сильних змін, зв'язаних з віком та розвитком рослини внаслідок чого значно міняється в онтогенезі і дихання. Найбільш інтенсивно дихають молоді тканини, що ростуть, при старінні рівень дихального метаболізму падає.

Вид онтогенетичної функції дихання, що використовується в моделі продукційного процесу, може бути різним і визначається, з одного боку, підходом до розрахунку дихання, а з іншого – структурою моделі.

Так, при оцінці дихання на одиницю сухої маси рослини загалом функція має вид спадної експоненти; при оцінці інтенсивності дихання на одну рослину функція має вид одновершинної кривої; при оцінці на одиницю азоту (величина, що відображає до деякої міри кількість активних білків) інтенсивність дихання змінюється незначно, слабо зростаючи в ході онтогенезу. При описі інтенсивності дихання окремих

органів рослини видонтогенетичної функції визначається не тільки віком органу, але і віком рослини в цілому та стадією її розвитку .

У прийнятій нами структурі моделі дихання оцінюється в цілому для всіх органів (наприклад, для всього листя) і в цьому випадку функція має видодновершинної кривої.

Зміни інтенсивності фотосинтезу і дихання органів в залежності від фізіологічного віку рослини описуються онтогенетичними кривими фотосинтезу та дихання [14, 16]. Так, онтогенетична крива фотосинтезу листя має вигляд:

$$\alpha_{\phi} \begin{cases} \exp \left\{ \alpha_{\phi}^0 \left[ \frac{\sum t - \sum t_{\phi_1}}{\sum t_{cm.} - \sum t_{\phi_1}} \right] 10^2 \right\} & \text{при } \sum t < \sum t_{\phi_1} \\ 1 & \text{при } \sum t_{\phi_2} \geq \sum t \geq \sum t_{\phi_1} \\ 1,063 - 1,826x_1 + 0,705x_1^2 & \text{при } \sum t > \sum t_{\phi_2} \end{cases} \quad (3.43)$$

$$x_1 = \frac{\sum t - \sum t_{\phi_2}}{\sum t_{cm.} - \sum t_{\phi_2}}, \quad (3.44)$$

де  $\alpha_{\phi}^0$  – початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу;

$\sum t$  – сума ефективних температур;

$\sum t_{\phi_1}$  – перша сума ефективних температур, при накопиченні яких починається період максимальної інтенсивності фотосинтезу;

$\sum t_{\phi_2}$  – друга сума ефективних температур, при накопиченні яких закінчується період максимальної інтенсивності фотосинтезу;

$\sum t_{cm.}$  – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації до дозрівання.

Аналогічним рівнянням описується і онтогенетична крива дихання  $\alpha_R$ , для якої задаються відповідні параметри. Вони характеризують початкове значення онтогенетичної кривої дихання  $\alpha_R^0$ , першу суму ефективних температур, при накопиченні яких починається період з



максимальною інтенсивністю дихання  $\sum t_{R_1}$ , другу суму ефективних температур, при накопиченні яких закінчується період максимальної інтенсивності дихання  $\sum t_{R_2}$ .

*Підблок фотосинтезу, дихання та приросту рослинної маси.*

На  $\text{CO}_2$ -газообмін впливає цілий ряд зовнішніх чинників. Являючись фотохімічним процесом, фотосинтез безпосередньо залежить від умов освітлення. Темнові реакції фотосинтезу і дихання – біохімічні процеси, і їх насамперед лімітують температура і кількість  $\text{CO}_2$ .

Якщо піддавати листя все більш сильному освітленню, то поглинання  $\text{CO}_2$  зростає спочатку пропорціонально, а потім більш повільно до деякої максимальної величини.

Для оцінки залежності інтенсивності фотосинтезу від щільності світлового потоку існує багато різноманітних формул, але найчастіше фотосинтез листя описують формулою Монсі і Саекі:

$$\Phi_o^j = (\Phi_{\max} \cdot a_{\phi} \cdot I_{\text{ФАР}}) / (\Phi_{\max} + a_{\phi} \cdot I_{\text{ФАР}}), \quad (3.45)$$

де  $\Phi_o^j$  – інтенсивність фотосинтезу при оптимальних умовах тепло- і вологозабезпеченості в реальних умовах освітленості,  $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ ;  $\Phi_{\max}$  – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні і нормальній концентрації  $\text{CO}_2$ ,  $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ ;  $a_{\phi}$  – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу,  $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год}^{-1})/(\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1})$ ;  $I_{\text{ФАР}}$  – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) всередині посіву,  $\text{кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$ ;  $j$  – номер кроку розрахункового періоду.

У природних умовах чинники зовнішнього середовища діють не ізольовано, а спільно. Тому газообмін рослини відображає взаємодію всіх внутрішніх і зовнішніх чинників. Один з них завжди виявляється у

мінімумі і протягом деякого часу лімітує асиміляцію, однак деякий вплив надають і інші чинники.

Для кількісного опису залежності фотосинтезу не тільки від щільності потоку ФАР, але і від вмісту  $\text{CO}_2$  в атмосфері розглядають величину  $\Phi_{\max}$  як функцію концентрації  $\text{CO}_2$  :

$$\Phi_{\max} = \tau_C \cdot C_0, \quad (3.46)$$

$\det_C$  – початковий нахил вуглецевої кривої фотосинтезу;

$C_0$  – концентрація  $\text{CO}_2$  в атмосфері.

У онтогенезі фотосинтетична активність листя визначається його віком і напруженістю водно-теплого режиму.

Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в реальних умовах середовища, відмінних від біологічно оптимальних, використовується вираз

$$\Phi_{\tau}^j = \alpha_{\phi}^j \Phi_o^j \cdot FTW2, \quad (3.47)$$

де  $\Phi_{\tau}$  – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища,  $\text{мг CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ ;  $\alpha_{\phi}$  – онтогенетична крива фотосинтезу;

$FTW2$  – узагальнена функція впливу факторів зовнішнього середовища.

Сумарний фотосинтез посіву за світлий час доби можна розраховувати за формулою:

$$\Phi^j = 0,68 \Phi_{\tau}^j \cdot L^j \tau_{\text{дн}} \cdot 0,1, \quad (3.48)$$

де  $\Phi$  – денний фотосинтез посіву на одиницю площі,  $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{доба})$ ;

$L$  – площа листової поверхні,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ;  $\tau_{\text{дн}}$  – тривалість світлого часу доби.

На відміну від процесу фотосинтезу здібністю до дихального газообміну володіють всі органи рослини.

При більш детальному розгляді функцію дихання можна розділити на дві частини: 1) дихання, пов'язане з підтримкою структурорганів рослини; 2) дихання, пов'язане з пересуванням речовин, з фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць (білків, ліпідів, клітинних

стінок і т.д.). Ця частина дихання називається конструктивним диханням, або диханням росту. Вуглеводи, створені в процесі фотосинтезу, нагромаджуються в резерв, звідки розподіляються і використовуються для різних цілей. Частина вуглеводів запасується в листках. Інтенсивність дихання всієї рослини за добу пропорційна масі рослини  $M$  і фотосинтезу:

$$R^j = \alpha_R^j (c_m M^j + c_G \Phi^j), \quad (3.49)$$

де  $R$  - витрати на дихання рослин;

$\alpha_R$  – онтогенетична крива дихання;

$c_m$  - коефіцієнт, який характеризує витрати на дихання підтримки життєдіяльних структур органів рослин;

$c_G$  - коефіцієнт, який характеризує витрати на дихання, пов'язані з переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць.

Приріст біомаси посіву визначається різницею між сумарним фотосинтезом посіву і витратами на дихання

$$\Delta M^j = \Phi^j - R^j. \quad (3.50)$$

#### *Підблок динаміки біомаси органів рослини*

Ріст, як і всі інші процеси в рослині, є функцією часу, що зовні виражається в періодичних і ритмічних коливаннях його інтенсивності, а також в змінах його масштабності, спрямованості та локалізації. Найбільш загальним вираженням залежності ходу ростових процесів у часі від внутрішніх причин, їх спадковості та фізіолого-біохімічного стану є сформульований Ю. Саксом в 1856 р. закон великого періоду росту, який відображає S-образний хід кривої інтегрального наростання розмірів або маси рослин і параболічний хід диференціальної кривої приростів величини збільшення маси за певний період.

Розглядаючи ріст як підсумковий процес, що відображає баланс речовин при фотосинтезі та диханні, І.Л. Давідсон та І.Р. Філіп запропонували принципово нове рівняння росту:

$$\frac{dM}{dt} = K(P - R), \quad (3.51)$$

де  $M$  – суха біомаса;  $t$  – час;  $P$  – сумарний фотосинтез;

$R$  – сумарне дихання рослини;  $K$  – емпіричний коефіцієнт пропорціональності між кількістю засвоєного  $\text{CO}_2$  і накопиченою біомасою.

На основі цієї формули Ю.К. Росс побудував систему рівнянь росту, рішення якої дає величину біомаси кожного органу і рослини в цілому як функції часу [19]:

$$\frac{dMy}{di} = dy \frac{dm}{dt} + Mby, \quad (3.52)$$

де  $dy$  – частка сумарного приросту маси всієї рослини, що приходить на  $i$ -й орган;

$by$  – сумарний приток «старих» асимілятів із інших органів у  $y$ -й орган.

Формула Ю.К.Росса враховує розподіл заново створених і «старих» асимілятів у рослині і тим самим частково вказує на регуляторну роль росту в цьому важливому процесі.

Для опису росту окремих органів рослин скористаємося запропонованими Ю.К. Россом [19] ростовими рівняннями в модифікованому вигляді з урахуванням формування зерен

$$\begin{aligned} m_i^{j+1} &= m_i^j + (\beta_i^j \Delta M^j - \nu_i^j m_i^j) n_{дек}^j, \\ m_p^{j+1} &= m_p^j + (\beta_{pi}^j \Delta M^j - \sum_i^{l,s,r} \nu_i^j m_i^j) n_{дек}^j, \\ m_g^{j+1} &= m_p^{j+1} \cdot Cq^j \end{aligned} \quad (3.53)$$

де  $m_i$  – загальна суха біомаса окремих органів  $\in l, s, r, p, g$ ;

$\beta_i$  – функція перерозподілу «свіжих» асимілятів;

$v_i$  – функція перерозподілу «старих» асимілятів;

$C_q$  – частка зерен в масі бобів;

$n_{дек.}$  – кількість днів в розрахунковій декаді.

Частка зерна в масі боба може бути знайдена за співвідношеннями:

$$C_q = \tau_{відн.} / (A_q + B_q \tau_{відн.}) \quad (3.54)$$

та

$$\tau_{відн.} = (\Sigma t - \Sigma t_{зерн.}) / (\Sigma t_{дозр.} - \Sigma t_{зерн.}), \quad (3.55)$$

де  $A_q$  і  $B_q$  – емпіричні параметри;

$\tau_{відн.}$  – відносний час формування зерна;

$\Sigma t_{зерн.}$  – сума ефективних температур, при якій починається ріст маси зерна.

*Підблок площі листкової поверхні*

Ріст площі листя посіву визначається при позитивному прирості біомаси листя за формулою:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta m_l \frac{1}{d_L}, \quad (3.56)$$

де  $d_L$  – питома поверхнева площа листя, г/м<sup>2</sup>.

При від'ємному прирості біомаси листя для опису росту асимілюючої поверхні використовується таке співвідношення [13]:

$$L^{j+1} = L^j - \Delta m_l \frac{1}{d_L} \cdot \frac{1}{k_c}, \quad (3.57)$$

де  $k_c$  – параметр, що характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листя, при якій починається її відмирання.

#### 3.4.5. Блок врожайності

Урожай зерна знаходиться:

$$M_{зерн.} = 0,1 m_g 1,14. \quad (3.58)$$

Рівняння (3.1) – (3.58) описують вплив агрометеорологічних умов на формування врожаю гороху в період вегетації.

#### 4 ВПЛИВ АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ГОРОХУ ПРИ РІЗНИХ СТРОКАХ СІВБИ В ПІВДЕННОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

Метою дослідження було вивчення впливу агрометеорологічних умов на формування продуктивності гороху в Південному Степу України. В якості вихідної інформації використовувалися середньообласні дані спостережень по мережі гідрометеорологічних та агрометеорологічних станцій Державної служби України з надзвичайних ситуацій ГМЦ ЧАМ. В якості теоретичної основи дослідження використана динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур, адаптована нами стосовно до культури гороху.

Продуктивність посівів, що визначається за динамічною моделлю, знаходиться в залежності, з одного боку, від факторів зовнішнього середовища, а з іншого, - від параметрів моделі. Отже, за допомогою динамічної моделі можна оцінити вплив різних факторів середовища на продуктивність посіву.

Даний чисельний експеримент був проведений на основі середніх багаторічних даних агрометеорологічних спостережень за період з 1986 по 2005 роки.

Розглянемо більш детально вплив агрометеорологічних умов на формування продуктивності гороху на прикладі найбільш високоврожайних областей південно-степової зони України: Миколаївської, Одеської та Херсонської областей.

На рис. 4.1 представлена динаміка агрометеорологічних умов вегетації гороху в Миколаївській області.

T, °C; SS, год;

R, мм; d, мм;

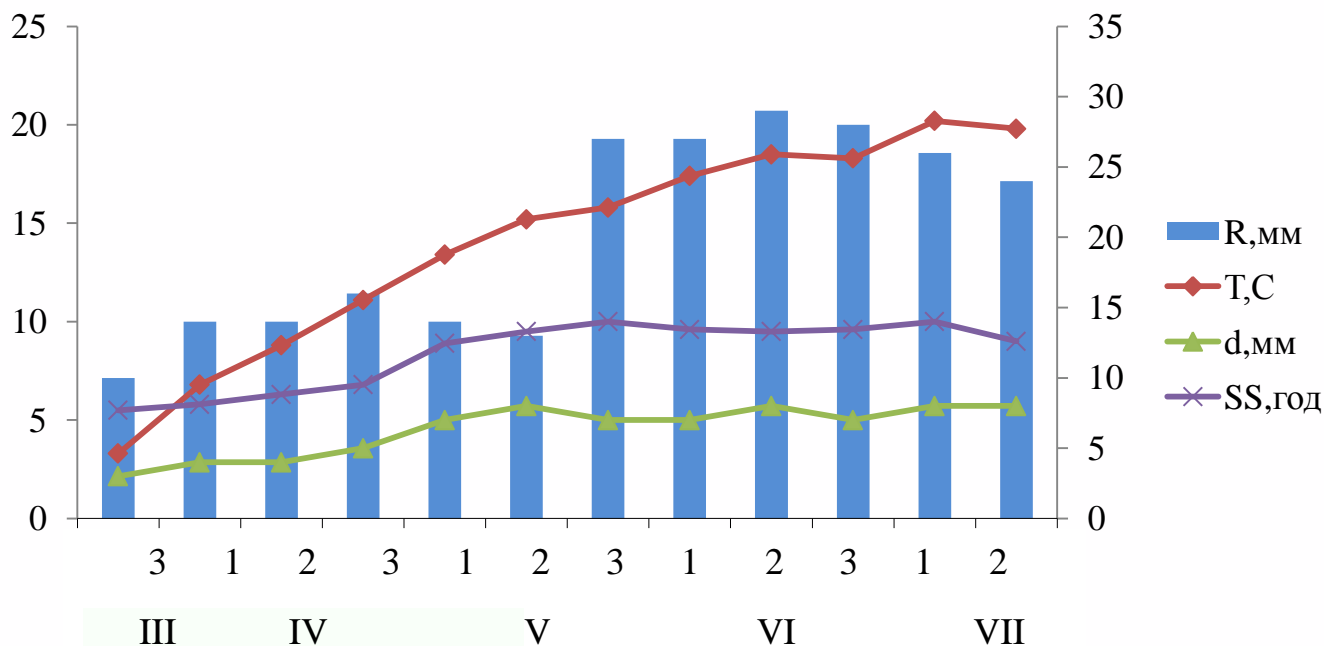


Рисунок 4.1 – Агрометеорологічні умови вегетації гороху в Миколаївській області

Посіви гороху в Миколаївській області проводились 24 березня (ранній), 4 квітня (середній) і 14 квітня (пізній). Третя декада березня (ранній строк сівби) характеризувалась середньодекадною температурою повітря 3,3 °C, сумою опадів 10,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 3,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сйва за декаду раннього строку сівби – 5,5 год.

У першій декаді квітня (середній термін сівби) спостерігалось підвищення середньодекадної температури повітря до 6,8 °C. Сума опадів склала 14,0 мм. Середньо декадний дефіцит насичення повітря був 4,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сйва – 5,8 год.

Друга декада квітня (пізній строк сівби) характеризується середньодекадною температурою повітря 8,8 °C. Сума опадів за декаду – 14,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 4,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сйва – 6,3 год.

Поява сходів і період цвітіння при всіх строках сівби проходили на фоні збільшення середньодекадної температури повітря з  $8,8^{\circ}\text{C}$  до  $18,3^{\circ}\text{C}$ . Сума опадів за цей період помітно зросла з 14,0 мм до 28,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря за цей період склав 4,0 – 7,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва досягла 6,3 – 9,6 год.

Період досягання почався в першій половині липня при ранньому і середньому термінах сівби і в другій половині липня при пізньому строку сівби. Середньодекадна температура повітря в цей період коливалась в межах  $20,2 - 19,8^{\circ}\text{C}$ , при сумі опадів 26,0мм - 24,0мм і дефіциті насичення повітря 8,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва – 10,0 – 9,0 год.

У табл. 4.1 представлені агрометеорологічні умови періоду вегетації культури гороху за основними міжфазними періодами в Миколаївській області.

Метеорологічні умови Миколаївської області відрізнялись як за температурним режимом, так і за умовами зволоження. У Миколаївській області сума активних температур за весь період вегетації гороху склала  $1599^{\circ}\text{C}$ .

Умови зволоження були також достатньо сприятливими: сума опадів склала 235 мм, а середні запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту становили 160 мм.

Такі особливості погодних умов відповідним чином позначились на наростанні площі листя. На рис. 4.2 представлена динаміка відносної площі листя рослин гороху по декадах у Миколаївській області. Починаючи з фази сходів, спостерігався поступовий приріст площі листової поверхні при всіх строках сівби. Далі темпи наростання площі



листя стрімко збільшувались до періоду цвітіння рослин. В кінці вегетації величина площі листя зменшувалась.

Наростання листкової поверхні при середньому терміні сівби відбувалось швидше і динамічніше, ніж при ранньому і пізньому строках. При ранньому терміні сівби площа листя в фазі сходи склала  $0,14 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , при середньому терміні сівби –  $0,15 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , при пізньому –  $0,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

Відзначено, що при середньому терміні сівби сформувалася найбільша площа листя і в період цвітіння досягла  $2,98 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . При ранньому терміні сівби найбільша відносна площа листкової поверхні спостерігалась в період цвітіння, але була меншою –  $2,95 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . При пізньому терміні сівби сформувалась найменша кількість листя у рослин, тому наприкінці цвітіння їх відносна площа була найменшою і склала  $2,73 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

На рис. 4.3 представлена динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху в Миколаївській області. Найвища чиста продуктивність фотосинтезу –  $7,3 \text{ (г/м}^2\cdot\text{д)}$  спостерігалась у рослин при середньому терміні сівби, у період максимального розвитку листя, коли відносна площа його становила  $2,98 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Найнижча чиста продуктивність фотосинтезу була у рослин при пізньому терміні сівби. Це зумовлено найменшою площею листкової поверхні –  $2,73 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

При ранньому терміні сівби найвища продуктивність фотосинтезу спостерігалась в період цвітіння (третья декада травня) і становила  $7,0 \text{ г/м}^2\cdot\text{д}$ . При пізньому терміні сівби найвища продуктивність фотосинтезу відзначалась в першій декаді червня і становила  $6,9 \text{ г/м}^2\cdot\text{д}$ .

Також, було розраховано фотосинтетичний потенціал (ФП) посівів гороху (табл. 4.2).

Таблиця 4.1 – Агрометеорологічні умови вегетації культури гороху за основними між фазними періодами у Миколаївській області

Показники	Посів - сходи			Сходи – цвітіння			Цвітіння – досягання		
	1 строк	2 строк	3 строк	1 строк	2 строк	3 строк	1 строк	2 строк	3 строк
Терміни посіву									
Тривалість періоду, (дні)	20	18	13	53	51	48	31	29	26
Середня температура повітря, (° C)	7	9,3	14,0	14,1	15,3	16,6	18,7	19,1	19,3
Сума активних температур, (° C)	140	168	182	745	782	796	581	555	503
Сума ефективних температур, (° C)	40	78	117	480	527	556	426	410	373
Сума опадів, (мм)	26,5	26,4	24,4	97	103,5	108,6	86	78,6	68,4
Гідротермічний коефіцієнт (ГТК), (відн. од.)	1,9	1,6	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,4	1,4
Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-100 см ( $W_{0-100}$ ), (мм)	176	177	172	166	146	140	108	112	112

Площа листя, м<sup>2</sup>/ м<sup>2</sup>

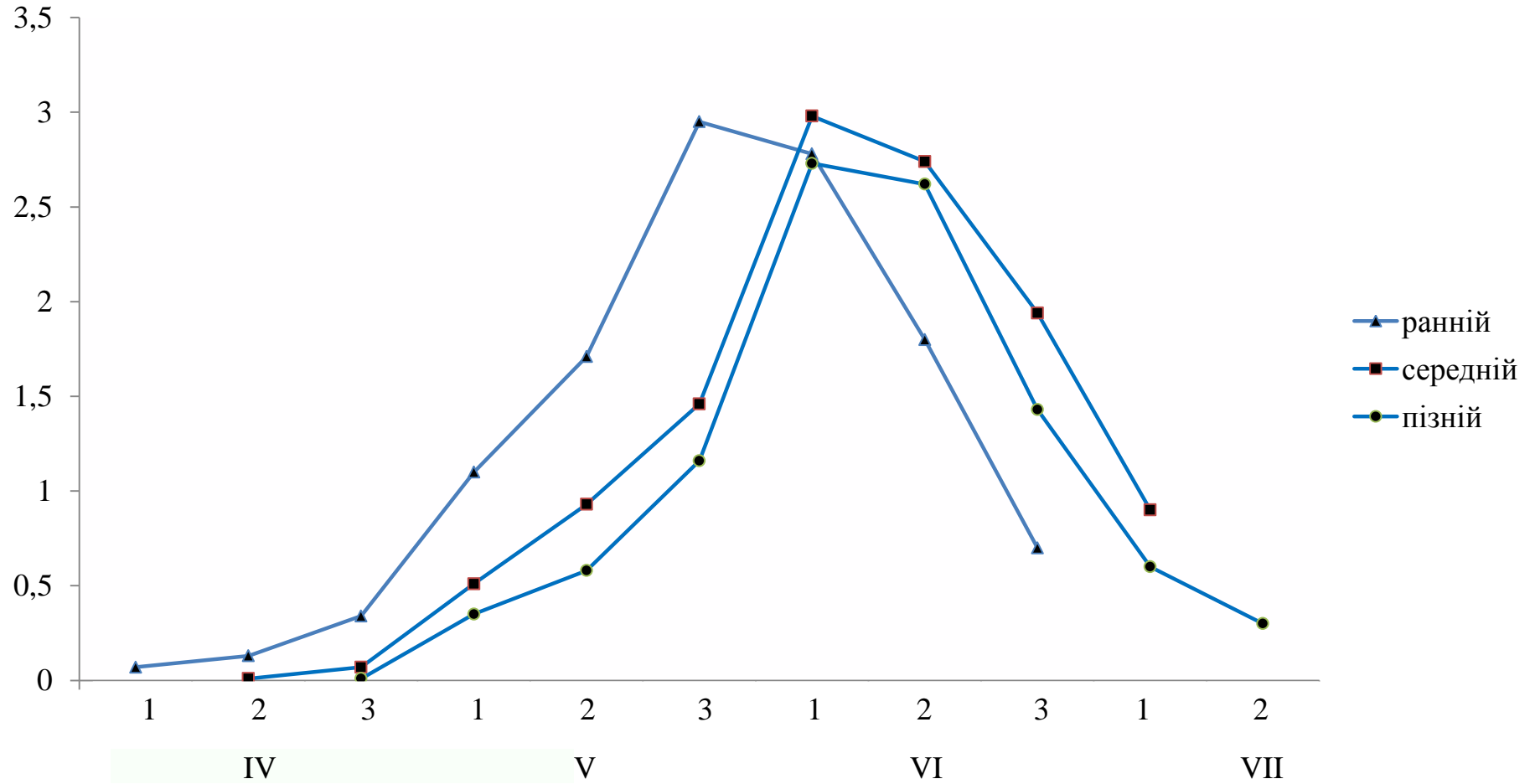


Рисунок 4.2. - Динаміка відносної площі листя рослин гороху по декадах у Миколаївській області

ЧПФ, г/м<sup>2</sup>·д

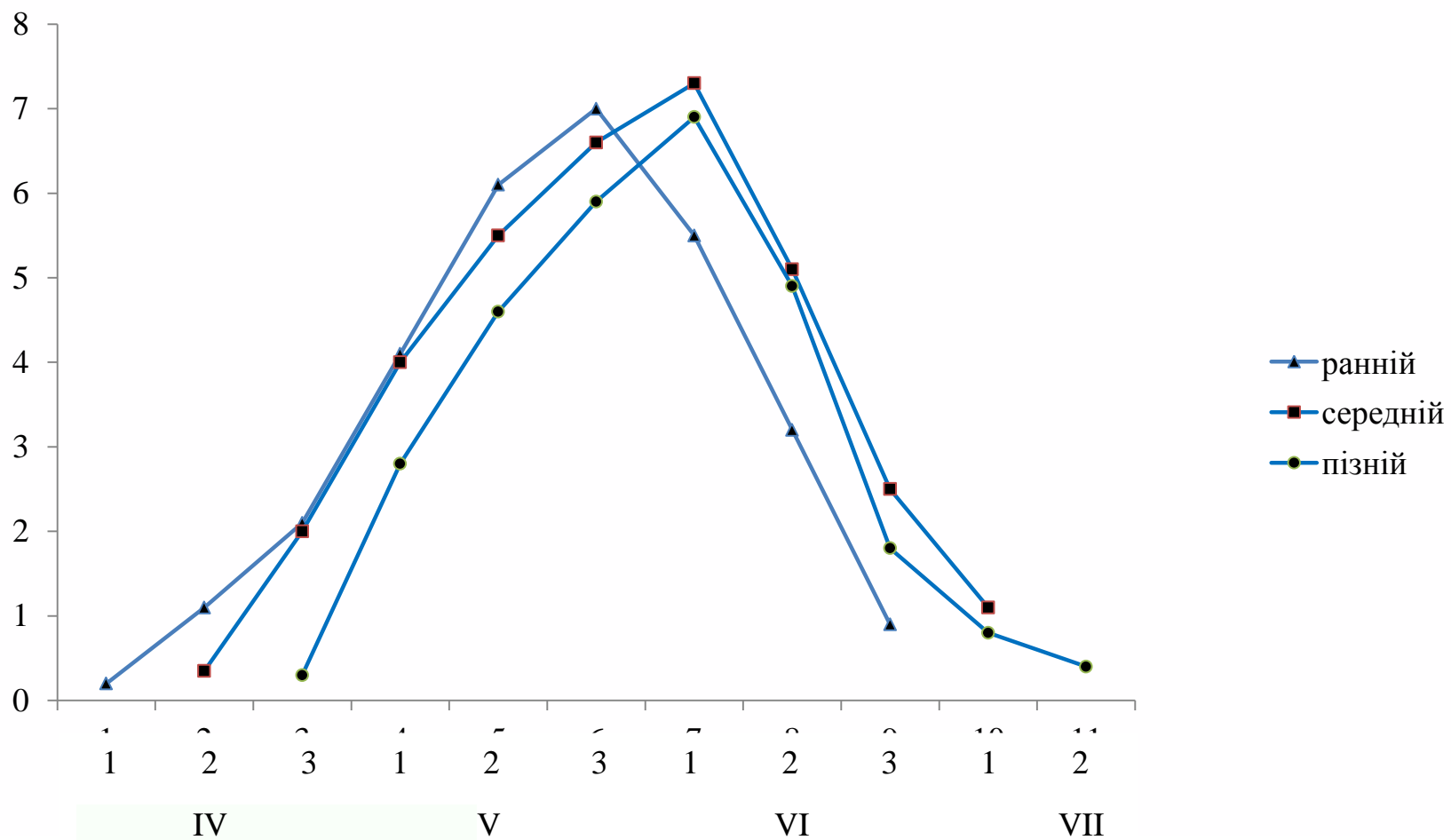


Рисунок 4.3 - Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) посівів гороху в Миколаївській області

При середньому терміні сівби, коли сформувалась найбільша відносна площа листкової поверхні і загальна суха біомаса рослин, фотосинтетичний потенціал досяг максимального значення –  $134 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Найбільше значення  $K_{\text{госп}}$  спостерігалось при середньому терміні сівби і становило 0,34 відн.од. Найбільший урожай сформувався також при середньому терміні сівби і становив 20,6 ц/га.

Таблиця 4.2 – Фотосинтетична продуктивність рослин гороху при різних строках сівби в Миколаївській області

Строки сівби	Максим. площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$	ЧПФ, максим.за вегетацію, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$	$K_{\text{госп}}$ , відн.од.	ФП за вегет., $\text{м}^2/\text{м}^2$	Суха маса зерен, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай, при стандарт. вологості (14 %), ц/га
ранній	2,95	7,0	0,33	130	166	18,9
середній	2,98	7,3	0,34	134	170	20,6
пізній	2,73	6,9	0,32	115	165	18,8

На рис. 4.4 представлено агрометеорологічні умови вегетації гороху в Херсонській області. В Херсонській області посіви гороху проводились 21 березня (ранній), 31 березня (середній) і 11 квітня (пізній). За волого - температурним режимом метеорологічні умови в період сівби були сприятливими. Третя декада березня (ранній строк сівби) характеризувалась середньодекадною температурою повітря  $3,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту становили 158 мм при сумі опадів за цю декаду 13 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 4,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва за декаду раннього строку сівби – 5,5 год.

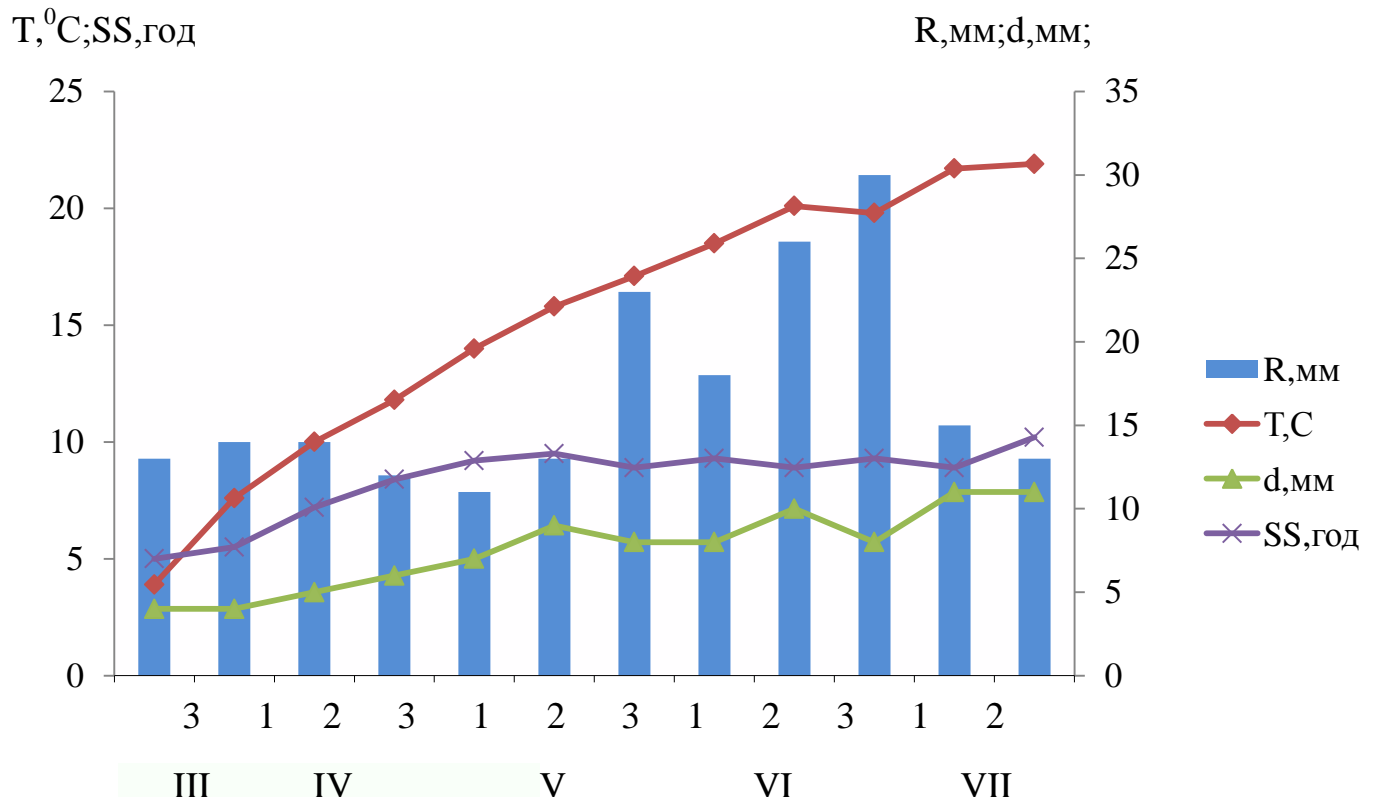


Рисунок 4.4 – Агрометеорологічні умови вегетації гороху в Херсонській області

У першій декаді квітня (середній термін сівби) спостерігалось підвищення середньодекадної температури повітря до 7,6 °С. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту знизилися до 150 мм, а сума опадів склала 14 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 4,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва – 5,5 год.

Друга декада квітня (пізній строк сівби) характеризується середньодекадною температурою повітря 10,0 °С. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту склали 145 мм при сумі опадів за декаду 14,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря становив 5,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва 7,2 год.

Поява сходів і період цвітіння при всіх строках сівби проходили на фоні збільшення середньодекадної температури повітря з 10,0 °С до

20,1 °С. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту знизились від 130 до 48 мм. Сума опадів за цей період помітно збільшилась з 14,0 мм до 26,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря за даний період склав 5,0 – 10,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сьйва становила 7,2 – 8,9 год.

Період досягання почався наприкінці червня при ранньому терміні сівби і на початку липня при середньому і пізньому строках. Середньодекадна температура повітря в цей період склала 19,8 – 21,9 °С, при середніх запасах продуктивної вологи 40 мм, при сумі опадів 13 – 30 мм і дефіциті насичення повітря 8,0 – 11,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сьйва – 8,9 – 10,2 год.

У табл. 4.3 представлені агрометеорологічні умови періоду вегетації культури гороху за основними міжфазними періодами. Можна відзначити, що погодні умови, які склалися в Херсонській області були сприятливими для вирощування гороху. Оскільки горох потребує значної кількості вологи, то сума опадів у 176 мм, яка випала за період вегетації, і середні запаси продуктивної вологи в 98 мм забезпечили високу вологість ґрунту під культурою.

Зазначені особливості погодних умов відповідним чином позначились на наростанні площі листя (рис. 4.5). Починаючи з фази сходів, спостерігався поступовий приріст площі листкової поверхні при всіх строках сівби.

Наростання листкової поверхні при ранньому терміні сівби відбувалось швидше і динамічніше, ніж при середньому і пізньому строках. При ранньому терміні сівби площа листя в фазі сходів склала 0,07 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, при середньому терміні сівби – 0,11 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, при пізньому – 0,08 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Відзначено, що при ранньому терміні сівби сформувалась найбільша площа листків і в період цвітіння вона досягла 2,84 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Таблиця 4.3 – Агрометеорологічні умови вегетації культури гороху за основними міжфазними періодами у Херсонській області

Показники	Посів - сходи			Сходи – цвітіння			Цвітіння – достигання		
	1 строк	2 строк	3 строк	1 строк	2 строк	3 строк	1 строк	2 строк	3 строк
Терміни посіву									
Тривалість періоду, (дні)	17	15	12	62	59	54	15	18	16
Середня температура повітря, (° C)	5,8	8,8	10,9	15,7	16,2	18,0	19,2	20,5	21,2
Сума активних температур, (° C)	100	112	121	784	824	865	328	358	358
Сума ефективних температур, (° C)	40	57	81	575	635	645	263	278	298
Сума опадів, (мм)	28	26	23	87	99	80	45	50	40
Гідротермічний коефіцієнт ( <i>ГТК</i> ), (відн. од.)	2,8	2,3	1,9	1,1	1,2	0,9	1,4	1,4	1,1
Запаси продуктивної вологи в шарі грунту 0-100 см ( $W_{0-100}$ ), (мм)	140	138	127	102	98	96	54	43	39



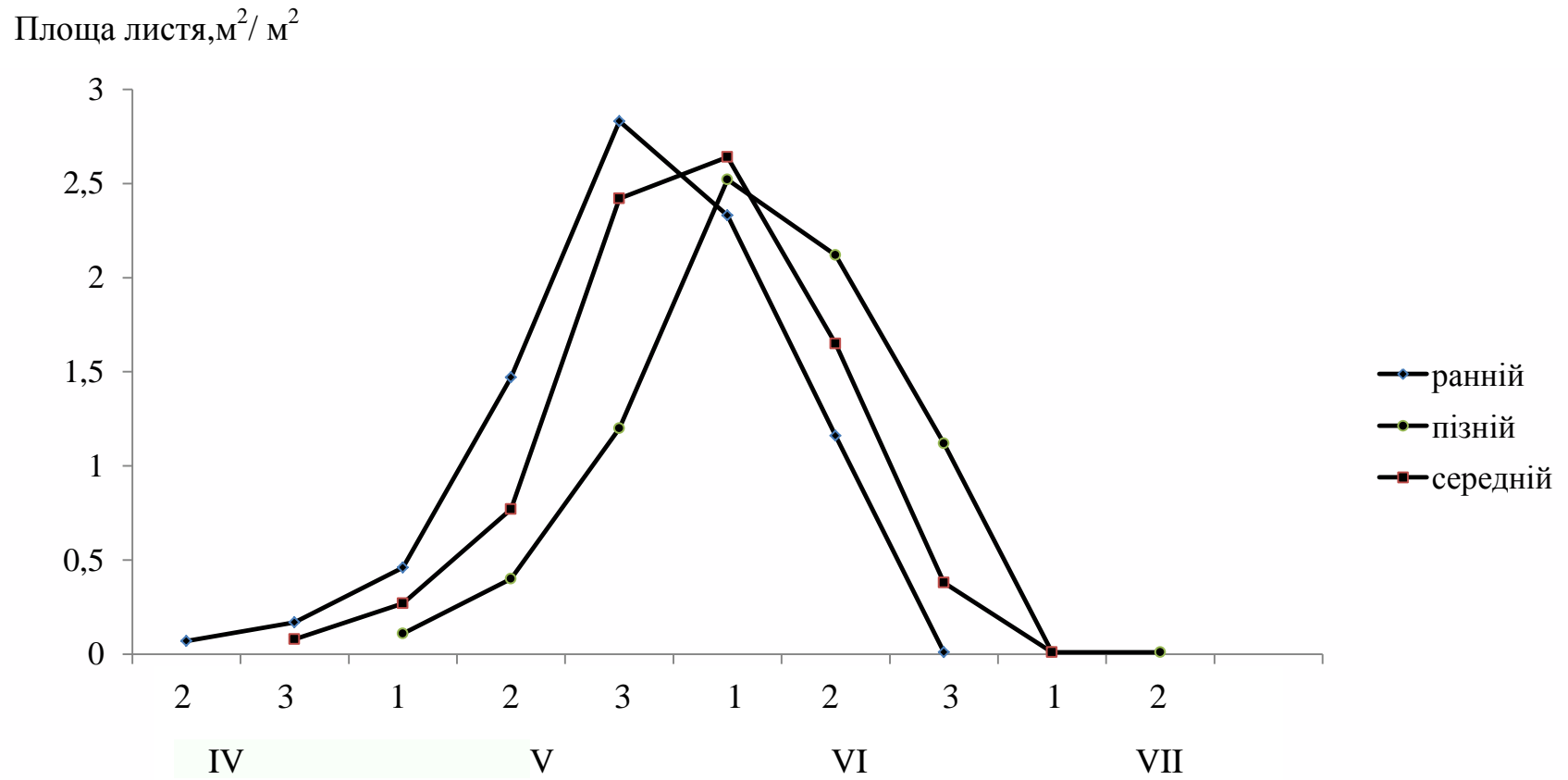


Рисунок 4.5 - Динаміка відносної площі листя рослин гороху по декадах у Херсонській області

При середньому терміні сівби найбільша відносна площа листкової поверхні спостерігалась також в період цвітіння і склала  $2,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

При пізньому терміні сівби сформувалась найменша кількість листя у рослин, тому в період цвітіння їх відносна площа була найменшою –  $2,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

На рис. 4.6 представлена динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху в Херсонській області. Аналізуючи дані табл. 4.3 і рис. 4.5, можна відзначити, що при ранньому терміні сівби в період цвітіння спостерігалась найвища ЧПФ.

ЧПФ,  $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$

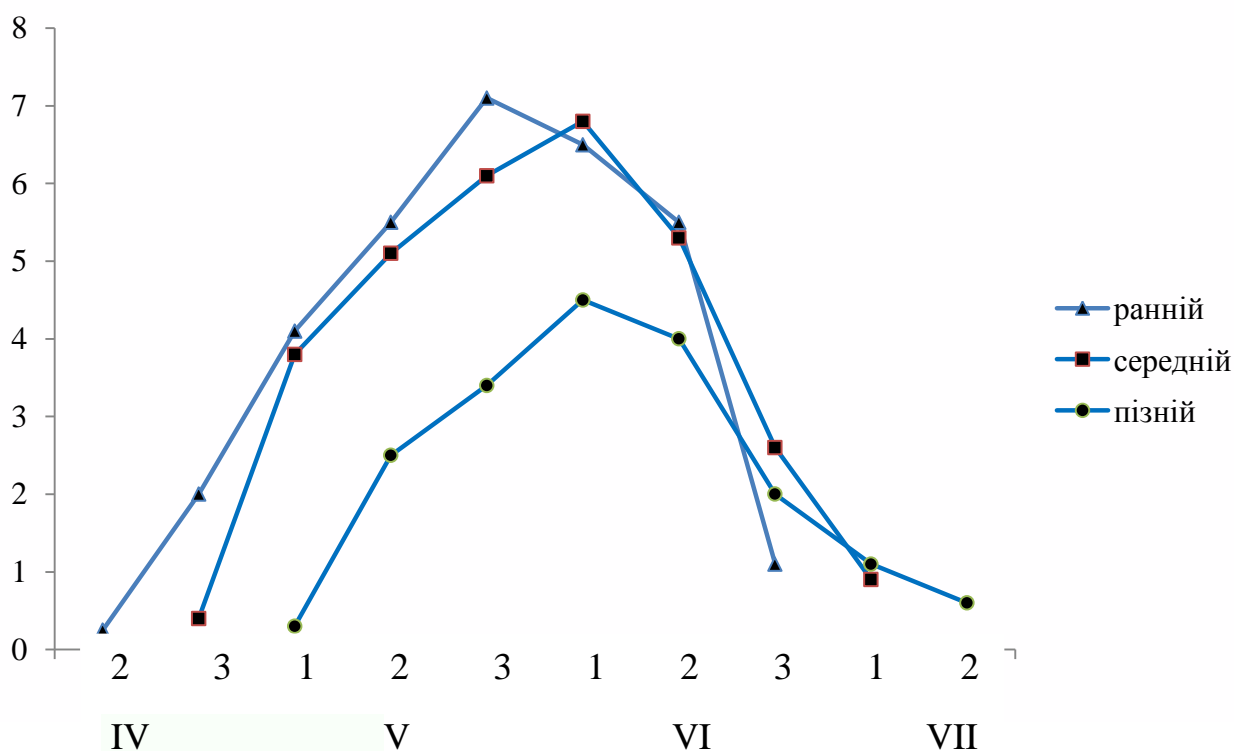


Рисунок 4.6 – Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху в Херсонській області

Це зумовлено сприятливими умовами зволоження. У період максимального розвитку листя, коли відносна площа його становила  $2,84 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , чиста продуктивність фотосинтезу була найвищою і склала  $7,1 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$ .

Найнижча чиста продуктивність фотосинтезу була у рослин при пізньому терміні сівби –  $4,5 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$ . Це зумовлено скороченням тривалості досліджуваного періоду і найменшою площею листкової поверхні –  $2,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . При середньому терміні сівби найвища продуктивність фотосинтезу відзначалась також в період цвітіння (перша декада червня) і становила  $6,8 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$ .

Було розраховано фотосинтетичний потенціал посівів (ФП), на величину якого значно вплинули строки сівби (табл. 4.4). За рахунок раннього строку сівби, коли сформувалась найбільша відносна площа листкової поверхні і загальна суха біомаса рослин, фотосинтетичний потенціал досяг максимального значення –  $136 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

Таблиця 4.4. - Фотосинтетична продуктивність рослин гороху при різних строках сівби в Херсонській області

Строки сівби	Максим. площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$	ЧПФ, максим. за вегетацію, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{добу}$	$K_{\text{госп}}$ , відн. од.	ФП за вегет., $\text{м}^2/\text{м}^2$	Суха маса зерен, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай, ц/га при стандарт. вологості (14 %)
ранній	2,84	7,1	0,36	136	164	18,8
середній	2,7	6,8	0,32	130	148	16,9
пізній	2,6	4,5	0,32	110	112	13,9

Найбільше значення  $K_{\text{госп}}$  спостерігалось при ранньому терміні сівби і становило 0,36 відн.од. Найбільший урожай сформувався також при ранньому терміні сівби і становить 18,8 ц/га.

На рис. 4.7 представлено агрометеорологічні умови вегетації гороху в Одеській області.

В Одеській області посіви гороху проводились 18 березня (ранній), 28 березня (середній) і 8 квітня (пізній). За волого - температурним режимом метеорологічні умови в період сівби були сприятливими.

Друга декада березня (ранній строк сівби) характеризувалась середньодекадною температурою повітря 3,4 °С, запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту становили 138 мм при сумі опадів за цю декаду 11 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 4,9 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва за декаду раннього строку сівби – 5,1 год.

У третій декаді березня (середній термін сівби) спостерігалось підвищення середньодекадної температури повітря до 5,3 °С. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту знизились до 113 мм, а сума опадів склала 13 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 4,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва – 5,1 год.

Перша декада квітня (пізній строк сівби) характеризувалась середньодекадною температурою повітря 8,5 °С. Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту склали 113 мм при сумі опадів за декаду 9,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря склав 4,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сяйва – 6,4 год.

Поява сходів і період цвітіння при всіх строках сівби проходили на фоні збільшення середньодекадної температури повітря з 8,5 °С до 20,3 °С.

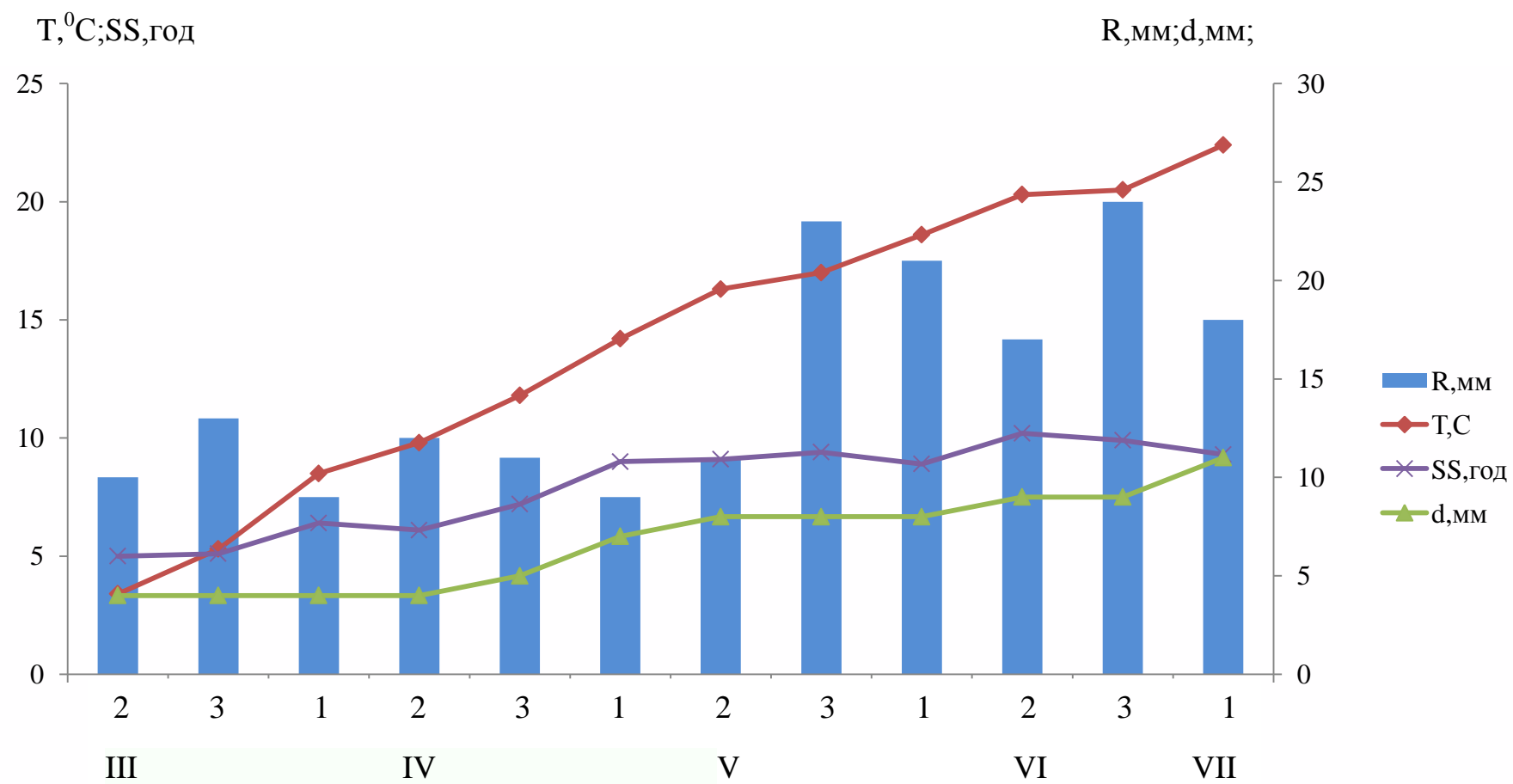


Рисунок 4.7 – Агрометеорологічні умови вегетації гороху в Одеській області

Запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту знизились від 113 до 74 мм. Сума опадів за цей період помітно збільшилась з 9,0 мм до 23,0 мм. Середньодекадний дефіцит насичення повітря за даний період склав 4,0 – 9,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сьйва становила 6,1 – 9,4 год.

Період досягання почався наприкінці червня при ранньому і середньому строках сівби і на початку липня при пізньому терміні. Середньодекадна температура повітря в цей період коливалась в межах 20,3 – 22,4 °С, при середніх запасах продуктивної вологи 53 мм, при сумі опадів 17 – 24 мм і дефіциті насичення повітря 9,0 – 11,0 мм. Середньоденна тривалість сонячного сьйва – 9,9 – 10,4 год.

У табл. 4.5 представлені агрометеорологічні умови періоду вегетації культури гороху за основними міжфазними періодами. Можна відзначити, що погодні умови, які склалися в Одеській області були сприятливими для вирощування гороху. Оскільки горох потребує значної кількості вологи, то сума опадів у 178 мм, яка випала за період вегетації, та середні запаси продуктивної вологи в 88 мм, забезпечили високу вологість ґрунту під культурою, що сприяло формуванню потужної кореневої системи і листового апарату гороху.

На рис. 4.8 представлено динаміку відносної площі листя рослин гороху по декадах в Одеській області. Починаючи з фази сходів, спостерігався поступовий приріст площі листової поверхні при всіх строках сівби. Далі наростання площі листя стрімко збільшувалось і в період цвітіння досягла свого максимуму. В кінці вегетації відзначалось поступове зниження величини площі листя, це зумовлено старінням рослин.

Наростання листової поверхні при ранньому терміні сівби проходило швидше і динамічніше, ніж при середньому і пізньому строках.

Таблиця 4.5 - Агрометеорологічні умови вегетації культури гороху за основними міжфазними періодами в Одеській області

Показники	Посів - сходи			Сходи – цвітіння			Цвітіння - досягання		
	1 строк	2 строк	3 строк	1 строк	2 строк	3 строк	1 строк	2 строк	3 строк
Терміни посіву									
Тривалість періоду, (дні)	19	17	14	50	49	46	17	16	14
Середня температура повітря, (° C)	6,7	7,7	9,2	14,4	15,4	15,8	19,5	20,4	21,3
Сума активних температур, (° C)	127	171	170	720	797	769	526	523	487
Сума ефективних температур, (° C)	32	86	100	470	552	539	391	393	367
Сума опадів, (мм)	32	34	32	106	114	138	38	41	42
Гідротермічний коефіцієнт (ГТК), (відн. од.)	2,5	2,0	1,9	1,5	1,4	1,8	0,7	0,8	0,9
Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0-100 см ( $W_{0-100}$ ), (мм)	117	117	116	145	104	87	79	59	42

Площа листя, м<sup>2</sup>/ м<sup>2</sup>

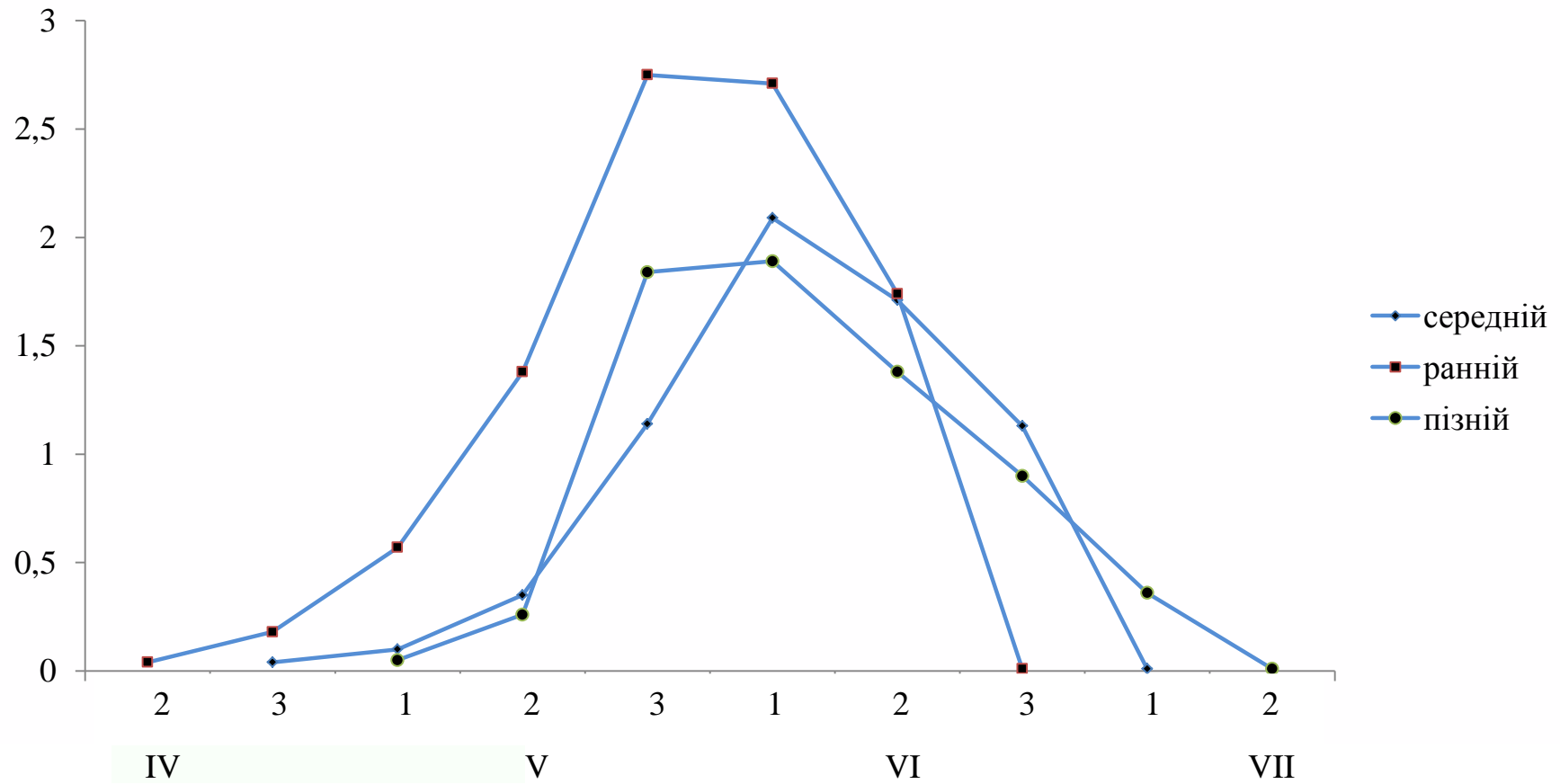


Рисунок 4.8 - Динаміка відносної площі листя рослин гороху по декадах в Одеській області



При ранньому терміні сівби площа листя в фазі сходів склала  $0,04 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , при середньому терміні сівби –  $0,05 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , при пізньому –  $0,04 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Відзначено, що при ранньому терміні сівби сформувалась найбільша площа листків і в період цвітіння досягла  $2,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . При середньому терміні сівби найбільша відносна площа листкової поверхні спостерігалась також в період цвітіння і склала  $2,09 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

При пізньому терміні сівби сформувалась найменша кількість листя у рослин, тому в період цвітіння їх відносна площа була найменшою –  $1,89 \text{ м}^2/\text{м}^2$ .

На рис. 4.9 представлена динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху в Одеській області.

ЧПФ,  $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$

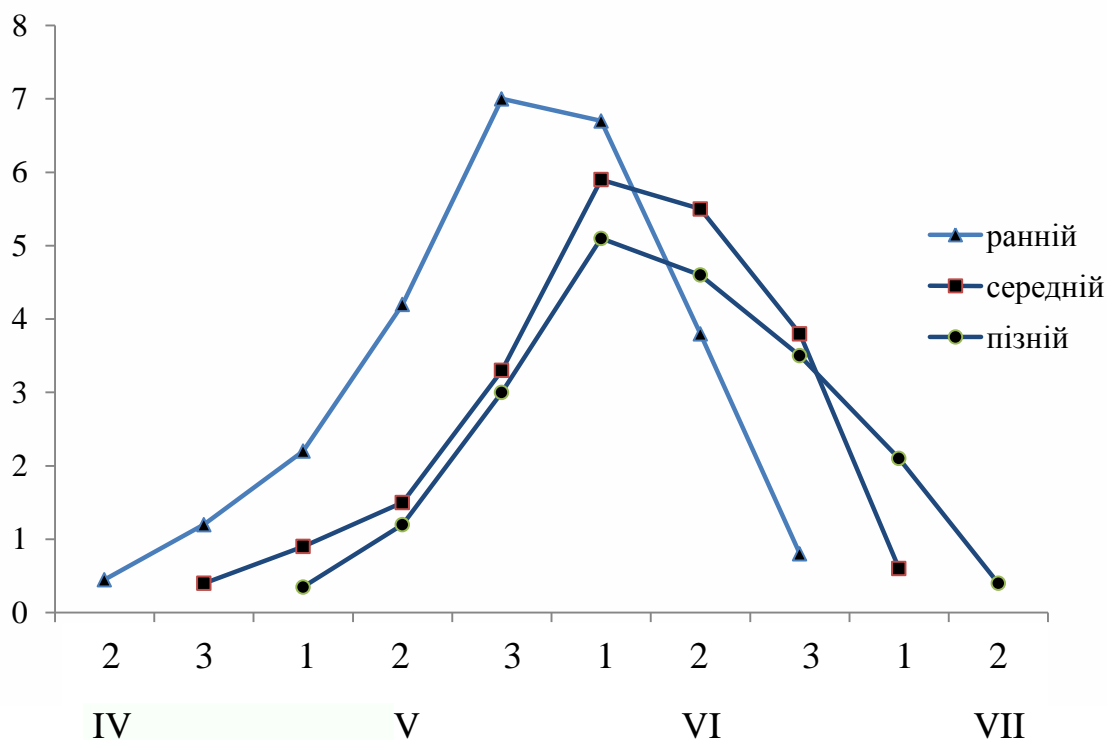


Рисунок 4.9 – Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху в Одеській області

Аналізуючи дані табл. 4.5 і рис. 4.8, відзначимо, що при ранньому терміні сівби в період цвітіння спостерігалась найвища ЧПФ. Це зумовлено сприятливими умовами зволоження. У період максимального розвитку листя, коли відносна площа його становила  $2,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$ , чиста продуктивність фотосинтезу була найвищою і досягла  $7,0 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$ . Найнижча чиста продуктивність фотосинтезу була у рослин при пізньому терміні сівби. Це зумовлено скороченням тривалості досліджуваного періоду і найменшою площею листкової поверхні –  $1,89 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . При середньому терміні сівби найвища продуктивність фотосинтезу спостерігалась в період цвітіння (перша декада червня) і становила  $5,9 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$ . При пізньому терміні сівби найвища продуктивність фотосинтезу спостерігається в першій декаді червня і становить  $5,1 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$  (табл. 4.5; 4.9).

При більш сприятливих метеорологічних умовах, які склались при ранньому терміні сівби, сформувалась найбільша площа листкової поверхні і загальна суха біомаса рослин, фотосинтетичний потенціал досяг максимального значення –  $165 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Найбільше значення  $K_{\text{госп}}$  відзначено при середньому терміні сівби і становить  $0,37$  відн.од. Найбільший урожай сформувався також при ранньому терміні сівби –  $19,4 \text{ ц}/\text{га}$ .

В результаті виконаних розрахунків за допомогою модифікованої моделі були визначені основні показники інтенсивності фотосинтезу і урожаю гороху по основних природно-кліматичних зонах України. Результати розрахунків представлені в табл. 4.6.

В результаті виконаної роботи можна дати кількісну оцінку впливу строків сівби на основні показники фотосинтетичної діяльності рослин у період вегетації гороху стосовно території Південного Степу України (табл. 4.7). Для цього було розраховано фотосинтетичний

потенціал посівів (ФП), на величину якого значно вплинули строки сівби. ФП характеризується сумою площі листя за весь вегетаційний період.

Таблиця 4.6 – Фотосинтетична продуктивність рослин гороху при різних строках сівби в Одеській області

Строки сівби	Максим. площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$	ЧПФ, максим.за вегетацію, $\text{г}/\text{м}^2 \cdot \text{д}$	$K_{\text{госп}}$ , відн.од	ФП за вегет., $\text{м}^2/\text{м}^2$	Суша маса зерен, $\text{г}/\text{м}^2$	Урожай при стандарт. вологості 14 %, ц/га
ранній	2,75	7,0	0,37	165	180	19,4
середній	2,09	5,9	0,33	141	125	14,3
пізній	1,89	5,1	0,32	112	122	12,8

В Миколаївській області найбільший фотосинтетичний потенціал спостерігався у рослин середнього строку сівби, де сформувалася максимальна площа листової поверхні і загальна суша біомаса. В Одеській та Херсонській областях найбільший фотосинтетичний потенціал спостерігався при ранньому терміні сівби. Також був розрахований коефіцієнт господарської частини врожаю ( $K_{\text{госп}}$ ), який являє собою частку зерен в загальній біомасі врожаю.

Найбільші значення  $K_{\text{госп}}$  спостерігались при ранніх та середніх термінах сівби. Найбільший урожай формується також при ранніх та середніх термінах сівби.

Отримані результати показали, що при пізніх строках сівби формування продуктивності гороху проходить при менш сприятливих агрометеорологічних умовах, що призводить до значного зниження площі листя, зменшення фотосинтетичного потенціалу і, як наслідок цього, до зниження врожаю.

Таблиця 4.7. – Фотосинтетична продуктивність рослин гороху при різних строках сівби в Південному Степу України

Область	Терміни сівби	Дати	Максим. площа листя, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	ЧПФ, максим. за вегетацію, г/м <sup>2</sup> ·добу	K <sub>госп</sub> , відн. од.	ФП за вегет., м <sup>2</sup> / м <sup>2</sup>	Суша маса зерен, г/м <sup>2</sup>	Урожай, ц/га при стандарт. вологості (14 %)
Миколаївська область	ранній	24.03	2,95	7,0	0,33	130	166	18,9
	середній	4.04	2,98	7,3	0,34	134	170	20,6
	пізній	14.04	2,73	6,9	0,32	115	165	18,8
Одеська область	ранній	18.03	2,75	7,0	0,37	165	180	19,4
	середній	28.03	2,09	5,9	0,33	141	125	14,3
	пізній	8.04	1,89	5,1	0,32	112	122	12,8
Херсонська область	ранній	21.03	2,84	7,1	0,36	136	164	18,8
	середній	31.03	2,7	6,8	0,32	130	148	16,9
	пізній	11.04	2,6	4,5	0,32	110	112	13,9

## ВИСНОВКИ

При виконанні дипломного проекту були отримані наступні основні результати:

1. Вивчено біологічні особливості гороху і його вимоги до факторів навколишнього середовища.

2. Вивчено фізико-географічні особливості Степової зони України.

3. Вивчено структуру динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур.

4. Проведено вивчення впливу агрометеорологічних умов на динаміку площі листя рослин гороху та динаміку чистої продуктивності фотосинтезу посівів гороху.

5. У численних експериментах за допомогою розрахунків по моделі виконана оцінка впливу продуктивності гороху стосовно території Південного Степу України при різних строках сівби.

6. Отримані результати показали, що при ранніх строках сівби (в Одеській та Херсонській областях) та середніх строках сівби (в Миколаївській області), формування продуктивності гороху проходить при більш сприятливих агрометеорологічних умовах, ніж при пізніх строках. Це призводить до підвищення площі листя, ФП та врожаю.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний довідник по території України./Т.І.Адаменко., 2011, - 108 с.
2. Алпатьев А.М. Влагооборот культурных растений/А.М.Алпатьев.– Л.: Гидрометеиздат, 1954. – 248 с.
3. Аграрний сектор України, хвороби гороха, 2015 р. Електронний ресурс. Режим доступу:<http://agroua.net/plant/catalog/cg-1/c-5/info/cag-325/>
4. Бушулян О. В. Каталог сортів СГІ – НЦНС / О. В. Бушулян, М. А. Литвиненко, А. А. Лінчевський. – Одеса, 2014. –106 с.
5. Вавилов П. П. Растениеводство / Вавилов П. П. – М.: Агропромиздат, 1986. – 124 с.
6. Державний реєстр сортів рослин, придатних до розповсюдження в Україні, 2015 р. Електронний ресурс. Режим доступу: [http:// vet.gov.ua](http://vet.gov.ua).
7. Иванова-Зубкова Н. З. Агрометеорологические показатели развития роста и формирования урожая гороха / Н. З. Иванова-Зубкова // Тр. ЦИП. – 1965. – Вып. 145.
8. Иванова-Зубкова Н. З. Агрометеорологические условия произрастания зернобобовых культур на Украине / Н. З. Иванова-Зубкова // Труды ГМЦ. – 1978. – Вып. 193. – С. 84–89.
9. Костин В. И. Урожайные качества гороха / В. И. Костин, А. В. Дозоров, О. В. Костин // Главный агроном. – 2005. – № 2. – С. 57-59.
10. Кузнецов В. В. Физиология растений / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М.: Высшая школа, 2005. – 736 с.
11. Кузнецова Г. С. Растениеводство / Г. С. Кузнецова. – Екатеринбург: УрГСХА, 2004. – 312 с.
12. Панина В. Ф. Агрометеорологические обоснования формирования высоких урожаев гороха в центрально-нечерноземной зоне: автореф. диссер.

на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук: спец. 11.00.09 «Метеорология, климатология, агрометеорология» / В. Ф. Панина. – М., 1966. – 17 с.

13. Панина В. Ф. Показатели оценки агрометеорологических условий формирования урожая зерна гороха / В. Ф. Панина // Метеорология и гидрология. – 1965. – № 2. – С. 27–29.

14. Польовий А. М. Сільськогосподарська метеорологія / А. М. Польовий. – Одеса: ТЕС, 2012. – 630 с.

15. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур / А. Н. Полевой. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.

16. Полевой А. Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / А. Н. Полевой. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 318 с.

17. Полуэктов Р. А. Динамические модели агроэкосистемы / Р. А. Полуэктов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 312 с.

18. Рожков А. О. Рослинництво: навч. посібник / А. О. Рожков, Є. М. Огурцов. – Х.: Тім Пабліш Груп, 2017. – 363 с.

19. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова / Росс Ю.К. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 341 с.

20. Сивков С. И. Методы расчета характеристик солнечной радиации / С. И. Сивков. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 232 с.

21. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х. Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.

22. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / Х. Г. Тооминг. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.

23. Тооминг Х. Г. Расчеты продуктивности и роста растительного покрова / Х. Г. Тооминг А. Каллис // Солнечная радиация и продуктивность растительного покрова. – Тарту: Изд. ИФА АН ЭССР, 1972. – С. 5–12.

24. Федюшина Д. П. К вопросу о потребности гороха в тепле и влаге в основные периоды вегетации / Д. П. Федюшина // Тр. КазНИГШ. – Вып. 25. – С. 219–217.

25. Федюшина Д. П. Показатели увлажнения вегетационного периода и их влияние на формирование урожая гороха / Д. П. Федюшина // Тр. Каз.НИГМИ. – 1971. – Вып. 40. – С. 80–96.

26. Хамоков Х. А. Продуктивность гороха при различной обеспеченности почвы влагой / Х. А. Хамоков // Аграрная наука. – 2005. – №1. – С. 17–18.

27. Шеуджен А. Х. Питание и удобрение зерновых, зернобобовых и технических культур / А. Х. Шеуджен, В. Т. Кураков, Л. М. Онищенко. – Майкоп: ТУРИН «Адыгея», 2004. – 49 с.