

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи магістрів з дисципліни  
"Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (розділ сільське  
господарство)"

Одеса –2014

Методичні вказівки до самостійної роботи магістрів з дисципліни "Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (розділ сільське господарство)" для магістрів V курсу факультету аспірантської та магістерської підготовки із спеціальності "Агрометеорологія". //Укладач: д.г.н., проф. Польовий А.М. Одеса, ОДЕКУ, 2014 р., с. 40, укр. мовою.

## ВСТУП

Вирішення світової продовольчої проблеми в XXI ст. є найважливішою, стратегічною задачею нового століття, воно є не тільки головною умовою існування населення Землі, але і вирішальним чинником соціальної стабільності окремих країн і світової спільноти в цілому.

В цих умовах важливим чинником підвищення ефективності сільського господарства України в умовах зміни клімату є науково-обґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур з врахуванням кліматичних змін, адаптація рослинництва до цих змін, що дозволяє найбільш ефективно використовувати природні ресурси в нових кліматичних умовах, добитися стійкого зростання кількості та якості урожаю, підвищити віддачу сировинних, енергетичних і трудових ресурсів.

Важливою ланкою проблеми зміни глобального клімату є оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на їхню продуктивність. Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату. Сучасне потепління викликає значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур.

Тому ґрунтовне вивчення досліджень з цієї проблеми та засвоєння їх фахівцями – агрометеорологами є важливим для успішного використання в практиці сукупності методів та заходів щодо адаптації сільського господарства до змін клімату.

Метою методичних вказівок є методичне забезпечення самостійного вивчення магістрами окремих розділів дисципліни "Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (розділ сільське господарство)". Основним завданням цього курсу є вивчення математичних моделей, які описують формування продуктивності сільськогосподарських культур, та кількісна оцінка за допомогою цих моделей та існуючих сценаріїв змін клімату впливу цих змін на продуктивність сільського господарства.

Зміст розділів дисципліни:

1. Базова динамічна модель формування продуктивності рослин для оцінки реакції сільськогосподарських культур на зміни клімату.
2. Оцінка впливу зміни клімату на зміни агрокліматичних ресурсів окремого регіону (на прикладі Луганського регіону).

3. Оцінка впливу змін клімату на продуктивність сільськогосподарських культур окремого регіону (на прикладі Луганського регіону)

Після вивчення тем студенти повинні знати: основні принципи та підходи до кількісного опису моделювання продуктивності сільськогосподарських культур, поняття про основні рівняння, що покладені в основу розрахунку продуктивності сільськогосподарських культур.

Вміти: виконувати розрахунки показників продуктивності сільськогосподарських культур.

## **Тема 1. БАЗОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РОСЛИН ДЛЯ ОЦІНКИ РЕАКЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР НА ЗМІНИ КЛІМАТУ**

Розробка теорії фотосинтетичної продуктивності посівів сільськогосподарських культур стимулювала інтенсивний розвиток робіт з моделювання продукційного процесу рослин, серед яких особливий інтерес для практики становлять довгоперіодні динамічні моделі формування урожаю, на основі яких створюються оперативні методи оцінки агрометеорологічних умов росту і розвитку сільськогосподарських культур та прогнозування їхньої урожайності.

Розвиток автоматизованих методів обробки агрометеорологічної інформації (добової та щодакдної) створив умови для розробки спеціалізованого Автоматизованого робочого місця агрометеоролога – прогнозіста (АРМ–агрометеоролога). Відкрилась можливість наповнення АРМ–агрометеоролога моделями формування продуктивності сільськогосподарських культур для виконання в автоматизованому режимі оперативної кількісної оцінки агрометеорологічних умов вирощування та прогнозування урожайності на основі використання стандартної оперативної агрометеорологічної інформації.

Теоретичною основою цих моделей є базова динамічна модель формування урожаю сільськогосподарських культур А.М. Польового [11, 12, 16].

### **1.1. Концепція моделювання**

Структура моделі визначається, виходячи із закономірностей формування гідрометеорологічного режиму у системі ґрунт – рослина – атмосфера та біологічних уявлень про ріст і розвиток сільськогосподарських культур під впливом чинників навколишнього середовища. В основі моделі лежить система рівнянь радіаційного,

теплового і водного балансів, балансу біомаси (вуглеводів і азоту) у рослинному покриві.

Основні концептуальні положення такі:

- ріст і розвиток рослин визначається генотипом і чинниками навколишнього середовища;
- моделюється ріст рослин (накопичення сухої біомаси) шляхом розподілу продуктів фотосинтезу і поглинутих елементів мінерального живлення з урахуванням потреб для росту в асимілятах надземної і підземної частин рослин;
- моделюються радіаційний, тепловий і водний режими системи ґрунт – рослина – атмосфера;
- моделюється трансформація форм азоту в ґрунті та азотне живлення рослин;
- моделюється гідроліз рослинної тканини при старінні рослин і в стресових умовах, а також перетікання продуктів гідролізу з листя, стебел, коренів у репродуктивні органи;
- моделюється вплив агрометеорологічних умов в основні міжфазні періоди сільськогосподарських культур на формування урожаю, втрати урожаю за рахунок посухи, а для зернових колосових культур – полягання посівів і «стікання» зерна.

Модель складається із 8 блоків:

1. Блок вхідної інформації.
2. Блок радіаційно-теплового режиму рослинного покриву.
2. Блок водного режиму рослинного покриву.
1. Блок фотосинтезу.
5. Блок дихання і старіння рослин.
6. Блок мінерального живлення.
7. Блок росту (розподіл структуроутворювальних компонентів – вуглеводів і азоту).
8. Блок формування площі листя.

Блок-сему моделі наведено на рис. 1.1.

Розглядається, що рослина складається з двох функціонально пов'язаних частин: надземної (*shoot*) і підземної (*root*), які в свою чергу поділяються на окремі органи або їхні складові частини. Виділяються: функціонуючі листки ( $l_{func}$ ), пожовклі листки ( $l_{yel}$ ), відмерлі листки ( $l_{mor}$ ), зелені стебла ( $s_{gr}$ ), пожовклі стебла ( $s_{yel}$ ), функціонуючі корені ( $r_{func}$ ), відмерлі корені ( $r_{mor}$ ), функціонуючі репродуктивні органи ( $p_{func}$ ), дозріваючі репродуктивні органи ( $p_{rip}$ ).

Маса  $m$  окремих  $i$ -х органів та їх окремих частин складається з двох компонентів – маси вуглеводів С і маси азоту N. Моделюється, що під впливом екзогенних і ендогенних чинників у рослині відбувається

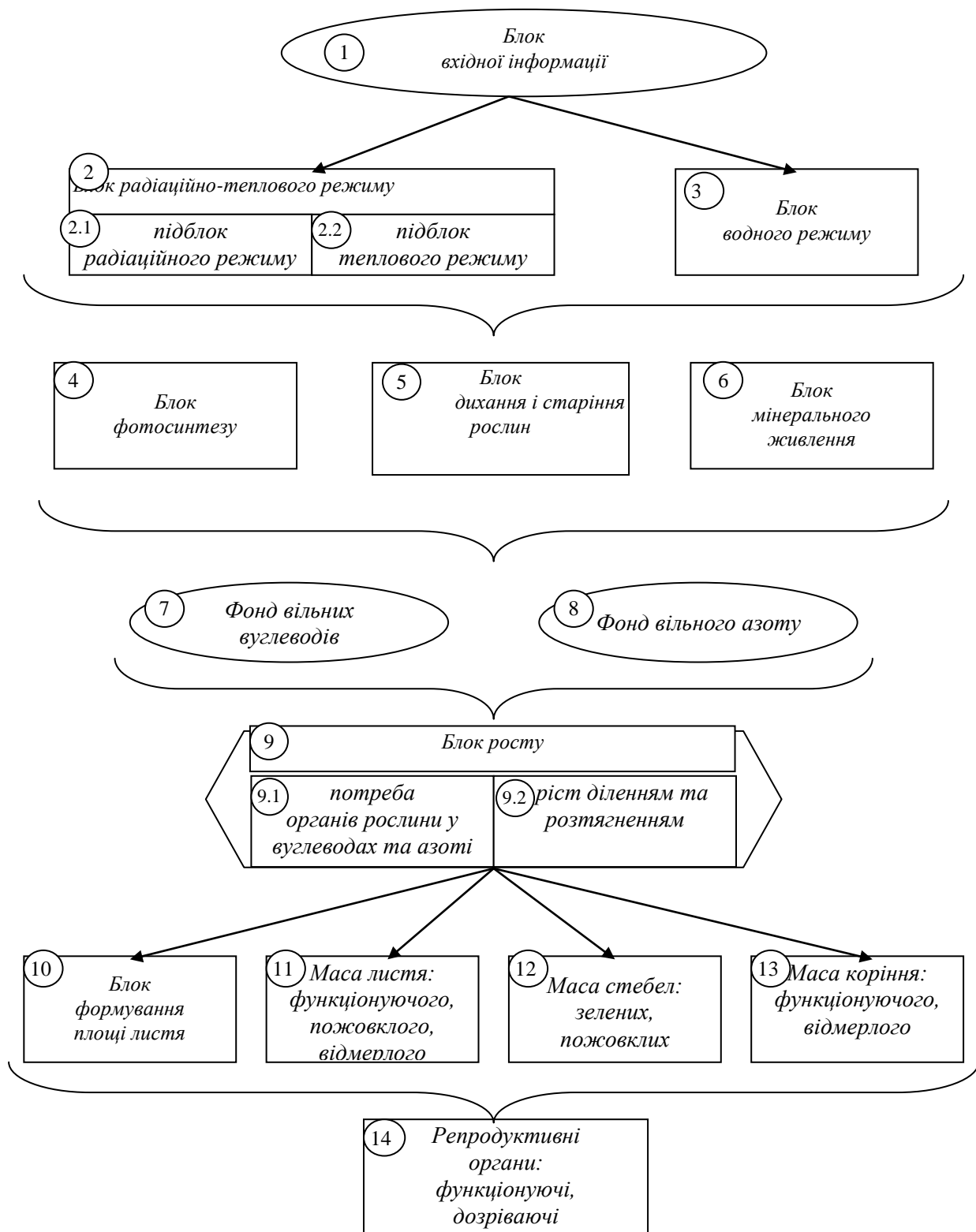


Рис. 1.1. Блок-схема базової динамічної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур.

формування єдиного фонду вільних вуглеводів  $C_{lab}$  та єдиного фонду вільного азоту  $N_{lab}$ .

У моделі розглядається, що ґрунт має 12 шарів: 0-2, 2-5, 5-10, 10-20 см і так далі через 10 см до глибини 100 см.

Моделюються потоки води і азоту у ґрунті, який розглядається одночасно як насичене та ненасичене вологою середовище.

Модель реалізовано в двох варіантах – з добовим кроком в часі та з декадним кроком.

## 1.2. Моделювання радіаційного та теплового режимів рослинного покриву

*Радіаційний баланс* рослинного покриву можна представити у вигляді суми довгохвильової і короткохвильової радіації:

$$R_L = Q_L + F_L ; \quad (1.1)$$

$$R_S = Q_S + F_S , \quad (1.2)$$

де  $R_L$  і  $R_S$  – радіаційний баланс рослинного покриву (РП) і поверхні ґрунту;  $Q_L$ , і  $Q_S$  – величини поглиненої короткохвильової радіації РП і поверхні ґрунту;

$F_L$  і  $F_S$  – величини балансу довгохвильової радіації РП і поверхні ґрунту.

Величини *поглиненої короткохвильової радіації* рослинного покриву і поверхні ґрунту визначаються за співвідношеннями:

$$Q_L = Q_o (1 - \alpha_{LS}); \quad (1.3)$$

$$Q_S = Q_o a_Q (1 - \alpha_S), \quad (1.4)$$

де  $Q_o$  – сумарна короткохвильова радіація над верхньою межею РП;

$\alpha_{LS}$  і  $\alpha_S$  – альbedo РП і поверхні ґрунту;

$a_Q$  – функція пропускання сумарної радіації РП.

*Альbedo рослинного покриву* визначається за формулою

$$\alpha_{LS} = \alpha_{Lh_o} + (\alpha_S - \alpha_{Lh_o}) \exp[-L(1 + ctgh_o / \pi)], \quad (1.5)$$

де  $\alpha_{Lh_o} = \frac{0,4084}{1 + 1,1832 \sinh_o}$ .

**Альbedo поверхні ґрунту** визначається в залежності від зволоження ґрунту за допомогою рівняння

$$\alpha_S = \begin{cases} \alpha_S^{\max} & \text{при } W_{SS} < W_{WP} \\ \alpha_S^{\max} - (\alpha_S^{\max} - \alpha_S^{\min}) \frac{W_{SS} - W_{WP}}{W_{FC} - W_{WP}} & \text{при } W_{WP} \leq W_{SS} \leq W_{FC}, \\ \alpha_S^{\min} & \text{при } W_{SS} > W_{FC}, \end{cases} \quad (1.6)$$

де  $\alpha_S$  – альbedo поверхні ґрунту;

$\alpha_S^{\max}, \alpha_S^{\min}$  – альbedo сухого і досить зволоженого ґрунту;

$W_{SS}$  – вологість поверхневого шару ґрунту;

$W_{WP}$  – вологість стійкого в'янення;

$W_{FC}$  – найменша вологомiсткiсть ґрунту.

**Функцію пропускання сумарної радіації** визначаємо за формулою

$$a_Q = (1 - c_2) \exp\left(-\frac{k_S^L L}{\sinh_o}\right) + c_2 \exp\left(-c_3 \frac{k_S^L L}{\sinh_o}\right), \quad (1.7)$$

де  $c_2, c_3$  – емпіричні сталі;

$k_S^L$  – емпірична стала, яка характеризує вплив геометричної структури РП на пропускання сонячної радіації.

**Величини балансу довгохвильової радіації** визначаються за такими формулами:

$$F_L = (F_A + \varepsilon_S \sigma T_S^4 - 2\varepsilon_L \sigma T_L^4)(1 - e^{-kL}), \quad (1.8)$$

$$F_S = F_A e^{-kL} - \varepsilon_S \sigma T_S^4 + \varepsilon_L \sigma T_L^4 (1 - e^{-kL}), \quad (1.9)$$



де  $F_A$  – противипромінювання атмосфери;  
 $\varepsilon_L$  і  $\varepsilon_S$  – коефіцієнти сірості листя і ґрунту;  
 $\sigma$  – стала Стефана-Больцмана;  
 $T_L, T_S$  – температура листя і ґрунту;  
 $k$  – емпіричний параметр орієнтації листя.

Противипромінювання атмосфери визначається за виразом

$$F_A = \varepsilon_a \sigma T_a^4, \quad (1.10)$$

де  $T_a$  – температура повітря;  
 $\varepsilon_a$  – коефіцієнт довгохвильового випромінювання, який можна визначити за емпіричною формулою

$$\varepsilon_a = 0,398 \cdot 10^{-5} \cdot T_a^{2,148}. \quad (1.11)$$

**Потік тепла у ґрунті** приймається пропорційним радіаційному балансу поверхні ґрунту

$$B_S = c_{BS} R_S, \quad (1.12)$$

де  $c_{BS}$  – емпірична стала.

**Сумарна короткохвильова радіація** визначається за формулою

$$Q_o = A_1 \left( \frac{1}{\tau} + S \right)^{A_2} \exp \left( - A_3 \frac{S}{\tau} \right) + A_4 \exp \left[ - A_5 \left( 1 - \frac{S}{\tau} \right) (\sinh \circ)^{A_6} \right], \quad (1.13)$$

де  $A_1, \dots, A_6$  – константи;

$\tau$  – тривалість світлого часу доби, від сходу до заходу Сонця.

### 1.3 Моделювання водного режиму рослинного покриву

*Вологоперенесення у ґрунті.* Рівняння потоку води в системі ґрунт – корінь розглядається одночасно як для насиченого, так і ненасиченого середовища

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{C(\psi)} \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\Theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(\psi)}{C(\psi)}, \quad (1.14)$$

де  $\psi$  – потенціал тиску ґрунтової вологи;

$C(\psi) = \frac{d\Theta}{d\psi}$  – диференціальна вологомiсткiсть;

$K(\Theta)$  – гiдравлiчна провiднiсть;

$\Theta$  – об'ємна вологiсть;

$S(\psi)$  – поглинання води кореннями;

$t$  – час;  $z$  – вертикальна координата.

Як початкова умова ( $t = 0$ ) задається

$$\psi(z, t = 0) = \psi_0(z). \quad (1.15)$$

За граничнi умови приймається:

– на нижнiй межi ( $z_{so}$ ) потенцiал тиску задається як

$$\psi(z = z_{so}, t) = \psi_{so}(t); \quad (1.16)$$

– на рiвнi ґрунтових вод величини

$$C(\psi) = 0 \quad \text{i} \quad \psi(z_{so}, t) = 0; \quad (1.17)$$

– на поверхнi ґрунту  $z_o$  (верхня межа)

$$P_s - E = -K(\Theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad \text{при} \quad P_s - E < J_{\max}, \quad (1.18)$$

$$\Theta = \Theta_{\max} \quad \text{при} \quad P_s - E \geq J_{\max}$$

де  $P_s$  – кiлькiсть опадiв, якi досягли поверхнi ґрунту;

$E$  – випаровування з поверхнi ґрунту;

$J_{\max}$  – максимально можлива iнтенсивнiсть iнфiльтрацiї при вологостi ґрунту на його поверхнi, дорiвнює  $\Theta_{\max}$ .

Кiлькiсть опадiв, що досягли поверхнi ґрунту, визначається як

$$P_s = P_o - P_L, \quad (1.19)$$

де  $P_o$  – кiлькiсть опадiв, що випали;

$P_L$  – кiлькiсть опадiв, перехоплених рослинним покривом, яка залежить вiд величини листкової поверхнi,

$$P_L = 0,2L, \quad (1.20)$$

де  $L$  – вiдносна площа листкової поверхнi (листяний iндекс).

Величина джерельно-стокового члена  $S(\psi)$  визначається в залежностi вiд потенцiалу тиску i максимальної швидкостi поглинання води  $S_{\max}$

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi) S_{\max} / f_{depth}^{root}, \quad (1.21)$$

вважаємо, що  $S_{\max} = T_r$ ,

де  $T_r$  – транспірація;

$f_{depth}^{root}$  – функція розподілу коренів на глибині;

$\alpha_s(\psi)$  – функція впливу водного потенціалу ґрунту на поглинання води кореневою системою.

*Транспірація* рослинного покриву визначається за формулою Пенмана

$$T_r = \frac{\Delta \left( \frac{R_L}{\lambda} \right)}{\Delta + \gamma_{ef}} + \frac{ET_{pot}}{\Delta + \gamma_{ef}}, \quad (1.22)$$

де  $\Delta$  – нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

$\gamma_{ef}$  – ефективна психрометрична стала;

$R_L$  – радіаційний баланс РП;

$ET_{pot}$  – випаровуваність;

$\lambda$  – прихована теплота пароутворення.

*Випаровуваність* визначається за допомогою рівняння

$$ET_{pot} = \frac{(e_s - e_a) \rho c_p}{r_a}, \quad (1.23)$$

де  $e_s$  – тиск насиченої пари при даній температурі повітря;

$e_a$  – фактичний тиск водяної пари;

$\rho$  – густина повітря;

$c_p$  – теплоємність повітря;

$r_a$  – опір примежового шару.

Ефективна психрометрична стала визначається за формулою

$$\gamma_{ef} = \gamma \frac{r_a + r_{st}}{r_a}, \quad (1.24)$$

де  $\gamma$  – психрометрична стала;

$r_{st}$  – продиховий (устячковий) опір дифузії водяної пари для листя.

Опір примежового шару визначається за виразом

$$r_a = \frac{\ln[(z - d_o) / z_o]^2}{\chi^2 u}, \quad (1.25)$$

де  $d_o$  – висота шару витіснення;

$z_o$  – висота шару шорсткості;

$\chi$  – стала Кармана;

$u$  – швидкість вітру на висоті  $z$ .

Продиховий (устячковий) опір визначається за формулою

$$r_{st} = \frac{1}{g_n + \frac{g_x Q_o}{Q_o + p_r}}, \quad (1.26)$$

де  $g_n, g_x, p_r$  – емпіричні параметри.

Випаровування з поверхні ґрунту  $E_S$  визначається як

$$E_S = \frac{(\Delta R_S) \cdot 1,26}{\Delta + \gamma}. \quad (1.27)$$

Рівень ґрунтових вод визначається за методом Шебеко:

$$H_{gr.w.}^{j+1} = H_{gr.w.}^j + \Delta H_{gr.w.}^j; \quad (1.28)$$

$$\Delta H_{gr.w.} = I_w / k_w \cdot 10 \quad (1.29)$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -V_p / k_w \cdot 10, \quad (1.30)$$

де

$$I_w = W_n + P_o - ET_{opt} - W_{FC} \quad (1.31)$$

і величина  $V_p$  знаходиться як

$$0 \leq W_{PC} - (W_n + P_o - ET) \geq V_p \leq V_{max},$$

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

$I_w$  – інфільтрація;

$V_p$  – розрахункове підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;

$W_n$  – початковий вміст вологи у ґрунті;

$ET$  – сумарне випаровування;

$V_{max}$  – максимально можливе підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;

$k_w$  – коефіцієнт водовіддачі.

## 1.4 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин

Фонд вільних вуглеводів рослин на кожному часовому кроці являє собою баланс продуктів фотосинтезу і продуктів розпаду тканин (при стресових умовах або старінні рослин), а також витрат на дихання

$$\frac{dC_{lab}}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R, \quad (1.32)$$

де  $C_{lab}$  – фонд вільних вуглеводів;

$\Phi$  – маса продуктів фотосинтезу;

$C_{hydr}$  – маса вуглеводів, що утворюються при розпаді тканин, які старіють;

$R$  – витрати вуглеводів на дихання рослин.

Процес фотосинтезу листя описується з врахуванням впливу на фотосинтез рівня мінерального живлення, фази розвитку рослин, температурного режиму і вологозабезпеченості рослин

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{1/\Phi_{pot}K_{\Phi}(N_{str}^L) + 1/a_C C_0 + 1/a_{\Phi}\Pi} \min \left\{ \alpha_{\Phi}, \Psi_{\Phi}, \frac{ET}{ET_{pot}} \right\}, \quad (1.33)$$

де  $\Phi_{pot}$  – інтенсивність потенційного фотосинтезу;

$a_C$  – нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;

$C_0$  – концентрація  $CO_2$  у повітрі;

$a_{\Phi}$  – нахил світлової кривої фотосинтезу;

$\Pi$  – поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;

$\alpha_{\Phi}$  – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\Psi_{\Phi}$  – температурна крива фотосинтезу;

$K_{\Phi}(N_{str}^L)$  – коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального живлення.

При стресових умовах і старінні рослин відбуваються процеси розпаду тканин. Ці процеси описуються рівняннями кінетики ферментативного каталізу. При достатньо високій концентрації гідролізуемого субстрату, швидкість розпаду можна описати рівнянням реакції нульового порядку, а при достатньо низькій – рівнянням реакції першого порядку:

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^0 K_{hydr}(T_a) K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i \geq C_{icrit} \quad (1.34)$$

i

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^1 K_{hydr}(T_a) C_i K_{hydr}(W) \quad \text{при} \quad C_i < C_{icrit}, \quad (1.35)$$

де  $K_{hydr}^0$  – константа швидкості реакції нульового порядку;

$K_{hydr}^1$  – константа швидкості реакції першого порядку;

$K_{hydr}(T_a), K_{hydr}(W)$  – функції впливу температури повітря  $T_a$  і вологості ґрунту  $W$  на швидкість розпаду;

$C_{icrit}$  – критична кількість вуглеводів, які визначають початок реакції розпаду як реакції першого порядку;

$C_i$  – кількість вуглеводів тканин, які старіють.

Витрати на *дихання росту* і *дихання підтримки* моделюються з використанням концепції Мак-Крі і з врахуванням зміни інтенсивності дихання в онтогенезі та під впливом температури повітря

$$\frac{dR}{dt} = \alpha_R \left[ C_G \frac{dm}{dt} + C_m m \varphi_R \right], \quad (1.36)$$

де  $C_G$  – коефіцієнт витрат на дихання росту;

$C_m$  – коефіцієнт витрат на дихання підтримки;

$\alpha_R$  – онтогенетична крива дихання;

$dm/dt$  – приріст біомаси рослин;

$m$  – маса рослин;

$\varphi_R$  – температурна крива дихання.

## 1.5 Моделювання мінерального живлення рослин

Формування фонду вільного азоту розглядається на кожному часовому кроці як поглинання азоту з ґрунту, продуктів розпаду рослинної тканини і витрат на відновлення активних структур тканини

$$\frac{dN_{lab}}{dt} = N_{abs} + N_{hydr} - N_{sen}, \quad (1.37)$$

де  $N_{lab}$  – фонд вільного азоту;

$N_{abs}$  – кількість поглиненого з ґрунту азоту;

$N_{hydr}$  – кількість азоту, що утвориться при розпаді білкових структур;

$N_{sen}$  – витрати на відновлення білків.

Процес поглинання азоту рослиною з ґрунту йде активним шляхом і пасивним – виносом азоту з транспіраційним потоком

$$dN_{abs} = D_{ef}^{Nr} N_{soil} L_{funk}^r K_{dif}^N(T_S) + Tr \bar{N}_{s.w.}, \quad (1.38)$$

де  $N_{soil}$  – концентрація азоту у ґрунті ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ );

$D_{ef}^{Nr}$  – ефективний коефіцієнт дифузії азоту у ґрунтовому розчині ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ );

$L_{funk}^r$  – довжина життєдіяльних коренів;

$K_{dif}^N(T_S)$  – функція впливу температури ґрунту на швидкість дифузії азоту в ґрунтовому розчині;

$Tr$  – транспірація;

$\bar{N}_{s.w.}$  – концентрація азоту в ґрунтовому розчині.

Процеси поглинання амонію і поглинання нітратів розглядаються в моделі окремо.

Розпад білка в органах рослини виражається рівнянням, подібним до рівнянь (5.47) і (5.48). Приймається, що швидкість відновлення білків кожного органа рослини пропорційна вмісту азоту в тканині цього органа

$$\frac{dN_{i_{sen}}}{dt} = \alpha_{sen} N_i \quad (1.39)$$

де  $\alpha_{sen}$  – відносна швидкість відновлення білків;

$N_i$  – вміст азоту в тканинах  $i$ -го органа.

У моделі розглядаються основні процеси трансформації азоту в ґрунті: амоніфікація, нітрифікація, іммобілізація амонію і нітратів, денітрифікація.

Кількість азоту, який легко гідролізується у ґрунті  $N_{tof}$  описується рівнянням

$$N_{tof} = P_{hum} K_{hum}^N K_{hydr}^N, \quad (1.40)$$

де  $P_{hum}$  – вміст гумусу у ґрунті;

$K_{hum}^N$  – вміст органічного азоту в гумусі ґрунту;

$K_{hydr}^N$  – коефіцієнт гідролізації азоту в ґрунті.

Трансформація форм азоту ґрунту описується такою системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} dN_{NH} &= A_{NH} N_{tof} F_{am}(T_S) F_{am}(W), \\ dN_{NO} &= A_{NO} N_{soil}^{NH} F_{nitr}(T_S) F_{nitr}(W), \\ dN_{im}^{NH} &= A_{im}^{NH} N_{soil}^{NH}, \\ dN_{im}^{NO} &= A_{im}^{NO} N_{soil}^{NO}, \\ dN_{den} &= A_{den} N_{soil}^{NO} F_{den}(T_S) F_{den}(W), \end{aligned} \right\}, \quad (1.41)$$

де  $dN_{NH}$  – швидкість амоніфікації;

$A_{NH}$  – коефіцієнт швидкості амоніфікації;

$F_{am}(T_S)$  і  $F_{am}(W)$  – функції впливу температури і вологості ґрунту на швидкість амоніфікації;

$dN_{NO}$  – швидкість нітрифікації;

$F_{nitr}(T_S)$  і  $F_{nitr}(W)$  – функції впливу температури і вологості ґрунту на швидкість нітрифікації;

$dN_{im}^{NH}$ ,  $dN_{im}^{NO}$  – швидкість іммобілізації азоту;

$A_{im}^{NH}$  і  $A_{im}^{NO}$  – коефіцієнт швидкості іммобілізації азоту з амонійних і нітратних форм азоту;

$dN_{den}$  – швидкість денітрифікації;

$A_{den}$  – коефіцієнт швидкості денітрифікації;

$F_{den}(T_S)$  і  $F_{den}(W)$  – функції впливу температури і вологості ґрунту на швидкість денітрифікації.

Баланс амонійних форм азоту в ґрунті можна описати таким рівнянням

$$\begin{aligned} N_{soil}^{NH(j+1)} &= N_{soil}^{NH(j)} + dN_{NH} - dN_{NO} - dN_{im}^{NH} - \\ &- dN_{abs}^{NH} + NH_m^{fert} + NH_{org.}^{fert} + NH_{atm}. \end{aligned} \quad (1.42)$$

де  $NH_m^{fert}$  і  $NH_{org.}^{fert}$  – амоній мінеральних і органічних добрив;

$NH_{atm}$  – амоній, що надходить з атмосферними опадами.

На відміну від амонійних форм азоту легкорухливі нітратні форми азоту ефективно переміщуються (пересуваються) від одного шару ґрунту до іншого дифузійним шляхом чи з потоками води. Дифузія нітратів  $dN_{dif}$  описується рівнянням

$$dN_{dif}^{NO} = D_{ef}^{NO} \frac{\bar{N}_{NO}^{\omega+1} - \bar{N}_{NO}^{\omega}}{h_{\omega}}, \quad (1.43)$$



де  $dN_{dif}$  – дифузія нітратів;

$D_{ef}^{NO}$  – ефективний коефіцієнт дифузії нітратів у ґрунтовому розчині;

$\bar{N}_{NO}^{\omega+1}, \bar{N}_{NO}^{\omega}$  – концентрація нітратів у суміжних шарах ґрунту;

$h_{\omega}$  – відстань між серединою суміжних шарів ґрунту.

Рівняння, що описує переміщення нітратів з потоками води  $dN_{I_w}^{NO}$  записується у вигляді

$$dN_{I_w}^{NO} = \frac{\bar{N}_{NO}^{\omega+1} + \bar{N}_{NO}^{\omega}}{2} I_w^{\omega}, \quad (1.44)$$

де  $dN_{I_w}^{NO}$  – переміщення нітратів з потоками води;

$I_w^{\omega}$  – інфільтрація води з одного шару ґрунту в інший.

Баланс нітратів у ґрунті записується як

$$\begin{aligned} N_{soil}^{NO(j+1)} = & N_{soil}^{NO(j)} + dN_{NO} - dN_{im.}^{NO} - dN_{abs}^{NO} + \\ & + NO_{m.}^{fert} + NO_{org.}^{fert} + NO_{atm} - dN_{dif}^{NO} - dN_{I_w}^{NO}, \end{aligned} \quad (1.45)$$

де  $NO_{m.}^{fert}$  і  $NO_{org.}^{fert}$  – нітрати органічних і мінеральних добрив;

$NO_{atm}$  – нітрати, що надходять з атмосферними опадами.

Сумарний баланс гумусу у ґрунті визначається за методом О.С. Образцова

$$\begin{aligned} Hum = & (m_l^{lit} K_C^{lit} K_{Hum}^{lit} + Org^{last} K_C^{Org} K_{Hum}^{Org} + Org^{last} K_N^{Org} K_{us}^{Org} + \\ & + M_N^{last} K_{us}^M + (m_l^{lit} + m_r^{mort}) K_N^{lit(mort)} K_{us}^{lit(mort)} - m^{last} K_N^{last}) \cdot 1,724 \end{aligned}, \quad (1.46)$$

де  $Hum$  – баланс гумусу в ґрунті;

$m_l^{lit}, m_r^{mort}$  – маса рослинних залишків і відмерлих коренів минулого року;

$K_C^{lit}, K_C^{Org}$  – відносний вміст вуглецю в сухій речовині рослинних залишків і органічних добрив;

$K_{Hum}^{lit}, K_{Hum}^{Org}$  – коефіцієнт гуміфікації рослинних залишків і органічних добрив;

$Org^{last}, M_N^{last}$  – кількість мінеральних добрив і доза внесення мінерального азоту минулого року;

$K_N^{Org}, K_N^{lit(mort)}$  – відносний вміст азоту в органічних добривах, рослинних залишках і відмерлих коренях;

$K_{us}^{Org}, K_{us}^M, K_{us}^{lit(mort)}$  – коефіцієнт використання азоту мінеральних і органічних добрив, рослинних залишків і відмерлих коренів;

$m^{last}$  – урожай біомаси минулого року;

$K_N^{last}$  – відносний вміст азоту в рослинній біомасі урожаю минулого року.

## 1.6 Моделювання росту рослин

*Динаміка біомаси* надземної і підземної частин рослин та окремих органів визначається з врахуванням потреб цих частин рослин в асимілятах.

Приріст маси вуглеводів та азоту розподіляється між надземною і підземною частинами рослин згідно таких рівнянь:

$$\frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} = \left(1 - \beta_{root}^{mC(N)}\right) \frac{dC(N)_{lab}}{dt}; \quad (1.47)$$

$$\frac{dmC(N)_{root}}{dt} = \beta_{root}^{mC(N)} \frac{dC(N)_{lab}}{dt}, \quad (1.48)$$

де  $mC(N)_{shoot}$  і  $mC(N)_{root}$  – кількість вуглеводів і азоту в надземній і підземній частинах рослин відповідно;

$\beta_{root}^{mC(N)}$  – функції розподілу вуглеводів і азоту у підземну частину рослин.

*Розподіл структуротворних компонентів* між надземними органами рослин та їх окремими частинами виконується за допомогою такої системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} &= \beta_l^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v^{C(N)} mC(N)_{l_{func}}; \\ \frac{dmC(N)_{l_{vel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{l_{func}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} &= \beta_{s_{gr}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} - v_s^{C(N)} mC(N)_{s_{gr}}; \\ \frac{dmC(N)_{s_{vel}}}{dt} &= \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} \frac{1}{K_{st}^{C(N)}} \text{ при } \frac{dmC(N)_{s_{gr}}}{dt} < 0; \\ \frac{dmC(N)_{p_{func}}}{dt} &= \beta_{p_{func}}^{mC(N)} \frac{dmC(N)_{shoot}}{dt} + v_l^{C(N)} mC(N)_{l_{func}} + \\ &+ v_s^{C(N)} mC(N)_{s_{gr}} + v_r^{C(N)} mC(N)_{r_{func}}; \end{aligned} \quad (1.49)$$

$$mC(N)_{prip} = mC(N)_{pfunc} k_{prip},$$

де

$$mC(N)_{lfunc}, mC(N)_{lyel}, mC(N)_{sgr}, mC(N)_{sgr}, mC(N)_{syel}, mC(N)_{pfunc}, mC(N)_{prip}$$

– кількість вуглеводів і азоту відповідно у функціонуючих та поживклих листках, зелених та поживклих стеблах, функціонуючих та дозріваючих репродуктивних органах;

$\beta_l^{mC(N)}$ ,  $\beta_{sgr}^{mC(N)}$ ,  $\beta_{pfunc}^{mC(N)}$  – функції розподілу вуглеводів та азоту в листя, яке росте, зелені стебла, функціонуючі репродуктивні органи;

$v^{C(N)}$  – функції перетоку вуглеводів та азоту із листя, стебел та коріння при їх старінні.

*Приріст маси* окремого  $i$ -го органа або окремої його частини визначається як сума вуглеводів та азоту, що надійшли в цей орган,

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{dC_i}{dt} + \frac{dN_i}{dt}. \quad (1.50)$$

*Приріст стебел* у висоту визначається як

$$\frac{dh_s}{dt} = \frac{dm_s}{dt} \frac{1}{\rho_s \pi r_s^2} \frac{1}{N_s}, \quad (1.51)$$

де  $dh_s/dt$  – швидкість росту стебел у висоту;

$dm_s/dt$  – приріст маси стебел;

$\rho_s$  – питома щільність стебел;

$r_s$  – радіус стебел;

$N_s$  – кількість стебел на одну рослину.

При моделюванні *старіння листя* зроблено припущення, що поживклі листя відпадають всі відразу при закінченні вегетаційного періоду,

$$m_{l\,fal} = m_{l\,yel} \quad \text{при} \quad t = t_{end}^{gr.s.}, \quad (1.52)$$

де  $m_{l\,fal}$  – маса опалого листя;

$t_{end}^{gr.s.}$  – термін закінчення періоду вегетації рослин.

При моделюванні *кореневої системи* приймається, що всі вуглеводи та азот, які надійшли до підземної частини рослин, направляються у функціонуючі корені

$$\frac{dmC(N)_{r\,func}}{dt} = \frac{dmC(N)_{root}}{dt}, \quad (1.53)$$

де  $mC(N)_{rfunc}$  – кількість вуглеводів та азоту у функціонуючих коренях.

Маса кореневої системи визначається за рівнянням (1.50).

Маса відмерлих коренів знаходиться за співвідношенням

$$m_{r_{mor}} = \beta_{r_{mor}} m_{r_{funk}}, \quad (1.54)$$

де  $\beta_{r_{mor}}$  – функція відмирання функціонуючих коренів рослин.

Ріст коренів у глибину і їхня щільність у ґрунті визначається такими рівняннями:

$$z_r = \frac{d_r m_r}{\rho_r} f_r; \quad (1.55)$$

$$\rho_r = \rho_r^{\max} \left(1 - e^{-d_r z}\right), \quad (1.56)$$

де  $z_r$  – нижня межа кореневої системи;

$m_r$  – маса коренів;  $\rho_r$  – густина коренів у ґрунті;

$\rho_r^{\max}$  – максимальна густина коренів у ґрунті;

$f_r$  – функція впливу фізико-механічних властивостей ґрунту на ріст коренів;

$d_r, d_\rho$  – емпіричні параметри.

Динаміка площі асимілюючої поверхні листя описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{\sigma_L} & \text{при } \frac{dm_{l_{func}}}{dt} \geq 0 \\ \frac{dL}{dt} = \frac{dm_{l_{func}}}{dt} \frac{1}{\sigma_L k_s^l} & \text{при } \frac{dm_{l_{func}}}{dt} < 0 \end{cases}, \quad (1.57)$$

де  $\frac{dL}{dt}$  – швидкість росту відносної площі поверхні листя;

$\sigma_L$  – питома поверхнева щільність листя;

$k_s^l$  – параметр, що характеризує частку життєдіяльних структур у загальній біомасі листя.

Наведена вище система рівнянь (1.1) – (1.57) описує формування гідрометеорологічного режиму в системі ґрунт – рослина – атмосфера, основні процеси життєдіяльності рослин, їхній ріст та формування урожаю. Вона записана у загальному вигляді і трансформується в залежності від морфологічних та біологічних особливостей сільськогосподарських культур.

### **Запитання для самоперевірки:**

1. В чому полягають загальні принципи моделювання
2. Що входить в блок вхідної інформації?
3. Як визначається радіаційно-тепловий режим рослинного покриву?
4. Як визначається фотосинтез рослинного покриву?
5. Як визначається водний режим рослинного покриву?
6. Як визначається дихання рослинного покриву?
7. Як визначається мінеральне живлення рослинного покриву?
8. Як визначається розподіл структуроутворювальних компонентів – вуглеводів і азоту рослинного покриву?
9. Як визначається формування площі листя рослинного покриву?

## **ТЕМА 2. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ЗМІНИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ОКРЕМОГО РЕГІОНУ (на прикладі Луганського регіону)**

### **2.1 Матеріали та методика дослідження**

Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів та агрокліматичних умов формування продуктивності сільськогосподарських культур та природної рослинності розглядались за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано сценарій зміни клімату в Україні – сценарій А1В, регіональна кліматична модель MPI-M-REMO, глобальна модель – ECHAM5-r3 [20] як найбільш вірогідний на період до 2050 року.

Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за три періоди: 1970 – 2010 рр. (базовий період), 2011 – 2030 рр. (I-й сценарний період), 2031 – 2050 рр. (II-й сценарний період).

Таким чином, в порівнянні були розглянуті три часових періоди. За базовий період для оцінки зміни агрокліматичних ресурсів, умов росту, розвитку та формування продуктивності зернових сільськогосподарських культур на період до 2050 року були прийняті кліматичні та агрокліматичні показники за 1970 – 2010 роки.

Зміна агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці призвела до зміни показників фотосинтетичної продуктивності посівів і як наслідок урожаю зерна.

На фоні зміни кліматичних умов за I-й та II-й періоди розглядалися такі варіанти:

- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері (для I-го періоду з 380 до 470 ppm, для II-го періоду з 380 до 520 ppm);
- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> + внесення добрив в дозах N<sub>75</sub> (озима пшениця);
- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> + внесення добрив в дозах N<sub>125</sub> (озима пшениця).

Слід зазначити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності озимої пшениці розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів сільськогосподарських культур.

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів була використана модель формування продуктивності агроєкосистеми [12, 13].

Ідентифікація моделі формування урожайності сільськогосподарських культур виконана на основі матеріалів агрометеорологічних спостережень метеорологічних станцій Луганської області та матеріалів середньообласної урожайності сільськогосподарських культур.

## **2.2 Узагальнена оцінка зміни агрокліматичних ресурсів регіону у зв'язку зі змінами клімату**

### **2.2.1 Теплозабезпеченість вегетаційного періоду**

Основними кліматичними та агрокліматичними характеристиками температурного режиму вегетаційного періоду були:

- дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °C навесні та восени;
- тривалість періоду з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °C;
- суми позитивних температур повітря за період з температурами вище 0, 5, 10, 15 °C;
- середня температура повітря січня, липня та їх амплітуда;
- дати останнього навесні та першого восени заморозку на висоті 2 м та на поверхні ґрунту;
- тривалість беззаморозкового періоду в повітрі на висоті 2 м та на поверхні ґрунту.

За початок весни, зазвичай, приймається дата стійкого переходу температури повітря через 0 °C. Аналіз цих дат показав, що і в I-у (2011 – 2030 pp.) і в II-у (2031 – 2050 pp.) періодах очікується більш ранній перехід температури повітря через 0 °C, раніше базового періоду (1970 – 2010 pp.) на 7 – 15 днів (табл. 2.1).

Восени перехід температури через 0 °С буде відбуватися пізніше на 13–18 днів (9 – 14 грудня). За рахунок таких зміщень дат відбудеться суттєве збільшення тривалості періоду з позитивними температурами: в I-й період на 21 день, а в II-й період на 34 дні. Тривалість періоду з позитивними температурами досягатиме 280 і 293 дні відповідно.

Початок вегетації (перехід температури через 5 °С) відбуватиметься в I-й період пізніше базового періоду на 3 дні, а в II-й період раніше на 9 днів. Це призведе до того, що в I-й період тривалість вегетаційного періоду вегетації зміниться мало на 8 днів, а в II-й період збільшиться на 27 днів і становитиме 239 днів.

Початок активної вегетації сільськогосподарських культур, тобто стійкий перехід температури повітря через 10 °С, майже не зміниться для I-го періоду і наступатиме майже в ті ж самі терміни, що і в базовий період, тобто 14 квітня. У II-й період стійкий перехід температури повітря через 10 °С наступатиме раніше на 5 днів (11 квітня). Восени закінчення активної вегетації (перехід через 10 °С) буде відбуватися на 17 – 20 днів пізніше (19 – 22 жовтня). В зв'язку з цим очікується збільшення вегетаційного періоду до 188–194 днів порівняно з базовим (169 днів).

Терміни переходу температури повітря через 15 °С весною і в I-й і II-й періоди зміняться незначно, а восени в I-й період цей перехід очікується на 9 днів пізніше базового, що відповідно призведе до збільшення цього періоду до 136 днів. Для II-го періоду очікується більш пізній перехід температури через 15 °С восени (28 вересня проти базового терміну – 14 вересня), що відповідно збільшить тривалість періоду з цими температурами до 140 днів.

Основними показниками забезпеченості рослин теплом є суми температур за різні періоди вегетації (табл. 2.2). За сумами температур вище 0 °С можна оцінювати характер весни, вище 5 °С – теплові ресурси вегетаційного періоду холодостійких культур, вище 10 °С – забезпеченість теплом активної вегетації теплолюбних культур, вище 15 °С – дуже теплолюбних культур.

Таблиця 2.1. Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 0, 5, 10, 15 °С та тривалість періодів з цими температурами

Період	Дати переходу температури повітря через межі								Кількість днів з температурою повітря рівною і вище			
	Навесні				Восени							
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	15 °С	10 °С	5 °С	0 °С	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С
1970-2010	11.III	28.III	16.IV	10.V	11.IX	2.X	26.X	26.XI	259	212	169	127
2011-2030	1.III	31.III	11.IV	10.V	22.IX	19.X	6.XI	9.XII	280	220	188	136
Різниця	-7	+3	-2	0	+9	+17	+10	+13	+21	+8	+19	+9
2031-2050	21.II	19.III	11.IV	11.V	28.IX	22.X	12.XI	11.XII	293	239	194	140
Різниця	-15	-9	-5	+1	+14	+20	+17	+18	+34	+27	+25	+13

Таблиця 2.2. Комплексні характеристики температурного режиму

Період	Сума активних температур вище				Температура повітря, °С			Дата останнього заморозку весною		Дата першого заморозку восени		Тривалість без-заморозкового періоду	
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	січень	липень	амплітуда	на ви-соті 2м	На поверхні ґрунту	на висоті 2 м	на поверхні ґрунту	у повітрі	на поверхні ґрунту
1970-2010	3546	3441	3113	2612	-4,6	22,1	26,7	28.IV	9.V	5.X	29.IX	159	143
2011-2030	3766	3618	3382	2635	-3,9	22,0	25,9	18.IV	7.V	16.X	5.X	181	151
Різниця	+220	+177	+269	+23	+0,7	-0,1	-0,8	-10	-2	+11	+6	+22	+8
2031-2050	3966	3816	3494	2872	-1,4	23,0	22,4	10.IV	1.V	17.X	8.X	190	157
Різниця	+320	+375	+381	+260	+3,2	+0,9	-4,3	-18	-5	+12	+9	+31	+14



Сума температур за відповідні періоди залежить від тривалості відповідного періоду і термічного режиму в ці періоди. Так, і в I-у і II-у періодах очікуються збільшення сум температур за відповідні періоди, але особливо значним це збільшення буде для II-го періоду.

Так, суми для I-го періоду суми температур вище 5 °С збільшаться на 177 °С, значно більшим буде зростання сум температур вище 10 °С. Для II-го періоду суми температур вище 5 і 10 °С зростуть на 375...80 °С, що відкриває можливості для вирощування більш урожайних теплолюбних культур та пізньостиглих сортів і гібридів кукурудзи. Також у II-й період значно зросте сума температур вище 15 °С.

За кліматичним сценарієм в I-й період середня температура січня підвищиться на 0,7 °С, а середня температура липня майже не зміниться. В II-й період відбудеться суттєве підвищення температури січня (на 3,2 °С) і значно менше підвищиться температура липня (0,9 °С). Зменшення річної амплітуди у II періоді до 22,4 °С (від 26,7 °С у базовий період) значно зменшить континентальність клімату.

Потепління клімату змінить режим настання весняних та осінніх заморозків. Дата останнього заморозку навесні на висоті 2 м буде спостерігатись на 10 днів (у I-й період) і на 18 днів (у II-й період) раніше в порівнянні з базовим. Меншим буде зміна термінів настання останнього заморозку на поверхні ґрунту. Вони будуть спостерігатись на 2 – 5 днів раніше. Відбудеться також зміщення дати першого заморозку восени., відповідно на 10 – 12 днів на висоті 2 м та на 6 – 9 днів на поверхні ґрунту.

Відповідно зі зміщенням дат настання останнього весняного та першого осіннього заморозків значно зміниться тривалість беззаморозкового періоду у повітрі на висоті 2 м для I-го періоду на 22 дні, для II-го періоду – на 31 день. Також на 8 – 14 днів збільшиться тривалість беззаморозкового періоду на поверхні ґрунту.

### **2.2.2 Вологозабезпеченість вегетаційного періоду**

Опади є основним джерелом зволоження земної поверхні і з цієї точки зору вони визначають стан багатьох природних ресурсів. Тому поняття просторово-часової мінливості структури поля опадів сучасності та їхні майбутні зміни відіграють важливу роль в прогнозах кліматично-зумовлених природних ресурсів (табл. 2.3).

Для характеристики умов зволоження аналізувались такі ж періоди як і для теплозабезпеченості: базовий 1970 – 2010 рр. та розрахункові за кліматичним сценарієм 2011 – 2030 рр. та 2031 – 2050 рр.

При цьому розглядалися такі показники:

- сума опадів за періоди: зима, весна, літо, осінь, рік;
- сума опадів за періоди з температурами повітря вище 5 і 10 °С;

– сумарне випаровування, випаровуваність, дефіцит випаровування;  
 – коефіцієнт зволоження – гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова за період травень – серпень.

У відповідності до кліматичного сценарію у режимі опадів відбудуться суттєві зміни. Річна кількість опадів збільшиться в I-й період на 17 % (до 587 мм), а в II-й період – на 14 % (до 569 мм) порівняно з кількістю опадів базового періоду (500 мм). Але це збільшення нерівномірно розподілиться за порами року. Майже у 1,5 раз зросте кількість опадів у зимовий період. В I-й період на 46 %, у II-й – на 50 %. Дещо менше але також суттєво очікується збільшення опадів навесні: в I-й період на 12 %, а в II-й період на 30 %. Влітку в I-й період очікується незначне (до 3 %) збільшення опадів і зменшення кількості опадів на 9 % у II-й період. Восени кількість опадів у I-й період збільшиться на 14 %, а в II-й період трохи зменшиться (на 5 %).

Таблиця 2.2. Режим зволоження Луганського регіону

Період	Кількість опадів за періоди, мм						Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування	
	з температурою повітря вище		зима	весна	Літо	осінь				рік
	5 °С	10 °С								
1970 – 2010	320	276	110	110	166	114	500	572	927	355
2011 – 2030	342	300	161	123	172	131	587	602	928	326
Зміна,%	+7	+9	+46	+12	+3	+14	+17	+5	0	-8
2031 – 2050	346	294	166	142	152	109	569	612	955	343
Зміна,%	+8	+6	+50	+30	-9	-5	+14	+7	+3	-3

За рахунок такого часового перерозподілу опадів за період з температурою вище 5 °С кількість опадів для I-го та II-го періодів збільшиться до 342 – 346 мм порівняно з 320 мм в базовий період, тобто зросте на 7 – 8 %. В період активної вегетації (період з температурами повітря вище 10 °С) кількість опадів для I-го та II-го періодів також зросте до 294 – 300 мм порівняно з базовим періодом. Відбудеться деяке зростання сумарного випаровування за рік.

Випаровуваність майже не зміниться для I-го і II-го періодів. Збільшення сумарного випаровування становитиме 5 – 7 %, а за рахунок цього зменшиться річний дефіцит випаровування до 326 мм в I-й період і до 343 мм у II-й період порівняно з базовим 355 мм. Це зменшення становитиме відповідно для періодів 8 і 3 % від базового періоду.

Характеристику посушливості вегетаційного періоду, надає гідротермічний коефіцієнт Селянинова. Значення ГТК в I-й період у травні дещо збільшиться (з 0,90 до 0,94), в червні збільшиться трохи більше (до

1,20), зменшиться суттєво в липні та серпні (до 0,74 – 0,75). За величиною ГТК липень та серпень місяці можна віднести до періодів з помірною посухою. Для II-го періоду характерним буде досить високий рівень ГТК у травні (1,25), деяке зменшення його у червні (1,15). Період липень – серпень зі значеннями ГТК 0,59–0,61 оцінюється як період з суворю посухою.

### **Запитання для самоперевірки:**

1. В чому полягають загальні принципи оцінки зміни агрокліматичних ресурсів?
2. Що лежить в основі визначення майбутніх характеристик тепла та вологи?
3. Як визначається комплексні характеристики теплового режиму?
4. Як визначається вологозабезпеченість вегетаційного періоду?
5. Що таке дефіцит випаровування?
6. Які використовуються комплексні показники вологозабезпеченості?

## **ТЕМА 3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ОКРЕМОГО РЕГІОНУ (на прикладі Луганського регіону)**

### **3.1. Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці**

Осіння вегетація озимої пшениці буде відбуватися в дещо пізніші терміни (табл. 3.1). Так, посів буде проходити у третій декаді вересня, що порівняно з базовим пізніше на 11 днів у I-й період і на 13 днів у II-й період. Відповідно змістяться і терміни появи сходів. Припинення вегетації (при стійкому переході температури повітря через 3 °С) також буде відбуватися пізніше відповідно на 14 і 16 днів, відповідно 22 та 24 листопада.

При таких термінах сівби осіння вегетація озимої пшениці буде відбуватися в I-й період при дещо зниженому (на 0,4 °С) температурному режимі порівняно з базовим періодом, а в II-й період температура повітря буде знаходитись практично на рівні базового. Сума активних температур вище 3 °С за ці періоди буде складати 603 і 607 °С, що дозволить сформувати оптимальну куцистість (3 – 6 пагонів на одну рослину). Важливою особливістю початкового періоду вегетації озимої пшениці являється правильний вибір оптимальних строків сівби. Їх відхилення від

оптимальних призводить до суттєвих недоборів урожаю зерна. Однією з таких причин є різна зимостійкість рослин, які не сформували оптимальну кількість пагонів кущіння.

Слід вказати, що наведені в табл. 3.1 терміни сівби для I і II періодів – оптимальні, які обумовлюють умови оптимального розвитку озимої пшениці в осінній період.

Розрахунки показують, що при збереженні традиційних термінів сівби на рівні базових (9 вересня) і не врахуванні змін температурного режиму восени суми температур за період сівба – припинення вегетації становитимуть у I-й період 788 °С, а в II-й період – 840 °С, що призведе до формування перерослих посівів. Перерослі рослини озимої пшениці будуть мати висоту більше 25 см, більше 5–6 бокових пагонів, більшу довжину конусу наростання. Зимостійкість таких посівів озимої пшениці буде знижуватись внаслідок інтенсивного росту рослин восени і як наслідок цього призведе до зниження урожаю на 15 – 20 %. Кількість опадів за період осінньої вегетації збільшиться і складатиме 75 – 90 мм (табл. 3.2).

У зимовий період сума від’ємних температур як характеристика ступеня суворості зими значно зменшиться порівняно з базовим періодом: до –241 °С в I-й період і до –88 °С у II-й період, що відповідно на 101 та 254 °С менше базового (–342 °С). Середня температура найбільш холодної декади підвищиться у I-й період на 0,9 °С, а у II-й період на 3,3 °С.

Мінімальна температура на глибині залягання вузла кущіння значно підвищиться: до –2,7 °С в I-й період і до –0,7 °С в II-й період.

Таблиця 3.1. Фази розвитку озимої пшениці

Період	Посів	Сходи	Припинення вегетації	Відновлення вегетації	Коло-сіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні	
							осінь	весна – літо
1970–2010	9.IX	21.IX	8.XI	22.III	27.V	2.VII	60	101
2011–2030	20.IX	2.X	22.XI	19.III	26.V	1.VII	63	104
Різниця	+11	+12	+14	–4	–1	–1	+3	+3
2031–2050	22.IX	1.X	21.XI	10.III	22.V	28.VI	60	110
Різниця	+13	+13	+16	–13	–5	–4	0	+9

Таблиця 3.2. Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в осінньо-зимовий період

Період	Період посів – припинення вегетації				Період перезимівлі			
	сума температура від 9.IX, °С	Сума температура від дати посіву, °С	середня температура, °С	сума опадів, мм	Сума від’ємних температур, °С	середня температура найхолоднішої декади	мінім. тем-ра ґрунту на глибині вузла кущіння	сума опадів, мм
1970–2010	600	600	10,0	70	–342	–5,2	–3,9	166
2011–2030	788	603	9,6	90	–241,0	–4,3	–2,7	205
Різниця	+188	+3	–0,4	+29%	+101	+0,9	+1,2	+24%
2031–2050	840	607	10,1	75	–88,0	–1,9	–0,7	192
Різниця	+240	+7	+0,1	+7%	+254	+3,3	+3,2	+16%

При відсутності інших причин пошкодження, зимівля озимих культур буде проходити добре. Середній процент загибелі рослин озимої пшениці буде становити не більше 3 – 6 %. Кількість опадів за період перезимівлі в I-й період збільшиться на 24 %, у II-й період – на 16 %.

Початок відновлення вегетації озимої пшениці зміститься дещо на більш ранні строки (табл. 3.3). В весняно-літній період вегетації озима пшениця в міжфазний період відновлення вегетації – колосіння проходить на фоні понижених температур повітря (на 0,4...1,3 °С). Для міжфазного періоду колосіння – воскова стиглість температурний режим в I-й період практично не зміниться, а в II-й період температура повітря знизиться на 0,6 °С.

В період відновлення вегетації – колосіння кількість опадів в I-й період збільшиться на 10 % в порівнянні з базовим періодом. Для II-го періоду буде характерним суттєве збільшення кількості опадів за період відновлення вегетації – колосіння. В період колосіння – воскова стиглість для обох періодів кількість опадів залишиться практично на тому ж самому рівні.

Випаровуваність за весняно-літній період вегетації майже не збільшиться від 389 мм у базовий період до 384 мм у I-й період і до 390 мм у II-й період (табл. 3.4). Дещо зросте величина сумарного випарування.

Збільшаться витрати вологи на транспірацію: в базовий період вони склали 113 мм, а очікуватимуться в I-й період – 149 мм, у II-й – 145 мм. Зросте вологозабезпеченість міжфазних періодів: відновлення вегетації – колосіння та колосіння – воскова стиглість. Показник зволоження ГТК збільшиться від 0,96 відповідно до 1,04 та 1,19.

Таблиця 3.3. Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці в весняно-літній період

Період	Період відновлення вегетації – колосіння			Період колосіння – воскова стиглість			Період відновлення вегетації – воскова стиглість		
	середня температура, °С	Сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм	середня температура, °С	сума температур, °С	сума опадів, мм
1970 – 2010	11,3	734	80	19,7	708	80	14,3	1442	160
2011 – 2030	10,9	740	88	19,8	711	80	14,0	1451	168
Різниця	-0,4	+6	+10%	+0,1	+3	0	-0,3	+9	+5 %
2031 – 2050	10,0	732	112	19,1	708	80	13,1	1440	192
Різниця	-1,3	-2	+40%	-0,6	0	0	-1,2	-2	+20%

Таблиця 3.4. Характеристика водного режиму вегетаційного період посівів озимої пшениці

Період	Сумарна за вегетацію, мм					Середній ГТК	Вологозабезпеченість за період, %		
	випаровуваність	випаровування	транспірація	випаровування з поверхні ґрунту	дефіцит випаровування		відновлення вегетації – колосіння	колосіння – воскова стиглість	Весь період
1970 – 2010	389	269	113	157	120	0,96	72,7	66,6	70,2
2011 – 2030	384	284	149	135	100	1,04	79,4	71,0	76,5
Різниця	-1 %	+6 %	+32%	-14%	-17%	+0,8	+6,7	+4,4	+6,3
2031 – 2050	390	290	145	144	100	1,19	79,0	73,2	76,4
Різниця	0	+8 %	+28%	-8%	-17%	+0,13	+6,3	+6,6	+6,2

### 3.2. Фотосинтетична продуктивність та коливання урожайності озимої пшениці в зв'язку зі змінами клімату

Зміна агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці привела до зміни показників фотосинтетичної продуктивності і як наслідок урожаю зерна.

На фоні зміни кліматичних умов у I та II періоди нами розглядались такі варіанти:

- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері (для I-го періоду з 380 до 470 ppm, для II періоду з 380 до 520 ppm);

- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> + внесення добрив N<sub>75</sub>;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO<sub>2</sub> + внесення добрив N<sub>125</sub>.

Слід зазначити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності озимої пшениці розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів культури.

Площа листкової поверхні (рис. 3.1) наростала від початку вегетації до 6 – 7-ої декад – настання фенологічних фаз колосіння – цвітіння.

В I-й період найбільш інтенсивне зростання площі асимілюючої поверхні (рис. 3.1а) відбуватиметься в 3 – 5-у декади, коли збільшення за рахунок тільки зміни кліматичних умов складало до 0,7 – 0,8 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> за декаду

При зростанні вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері від 380 до 470 ppm наростання площі листкової поверхні йтиме більшими темпами, а внесення азотних добрив в дозі 75 кг (д.р.)/га призведе до збільшення темпу наростання площі листя до 1,7 – 1,9 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup> за декаду в період максимального росту.

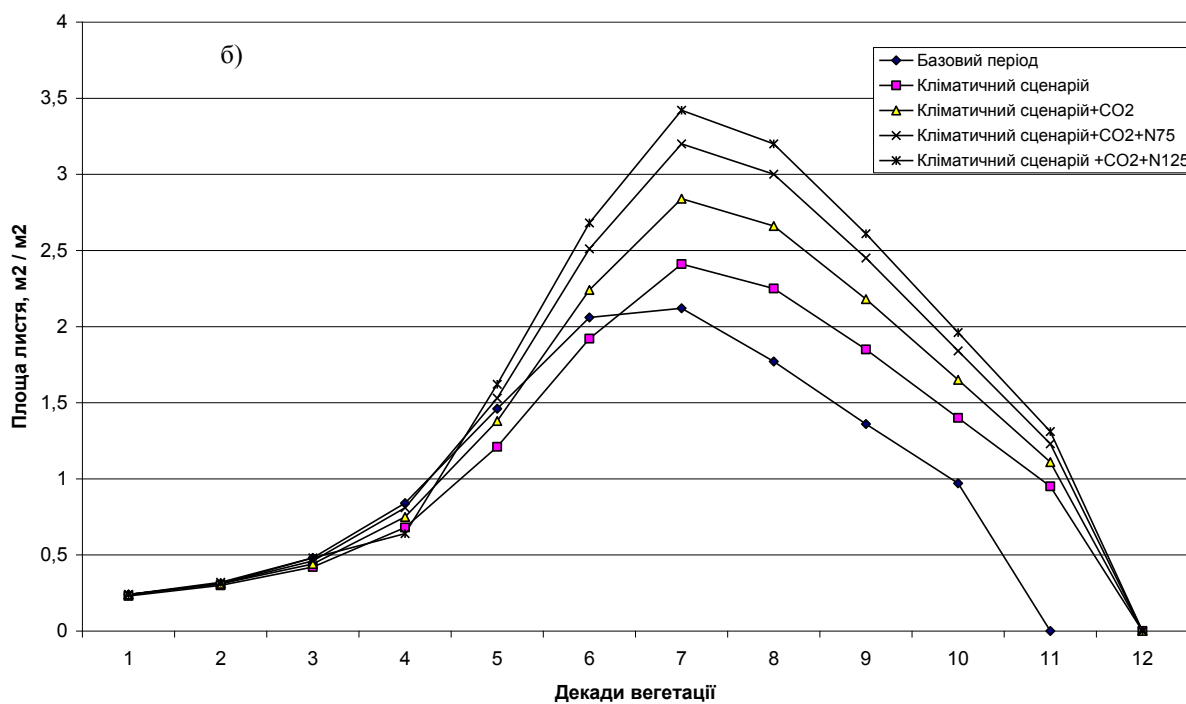
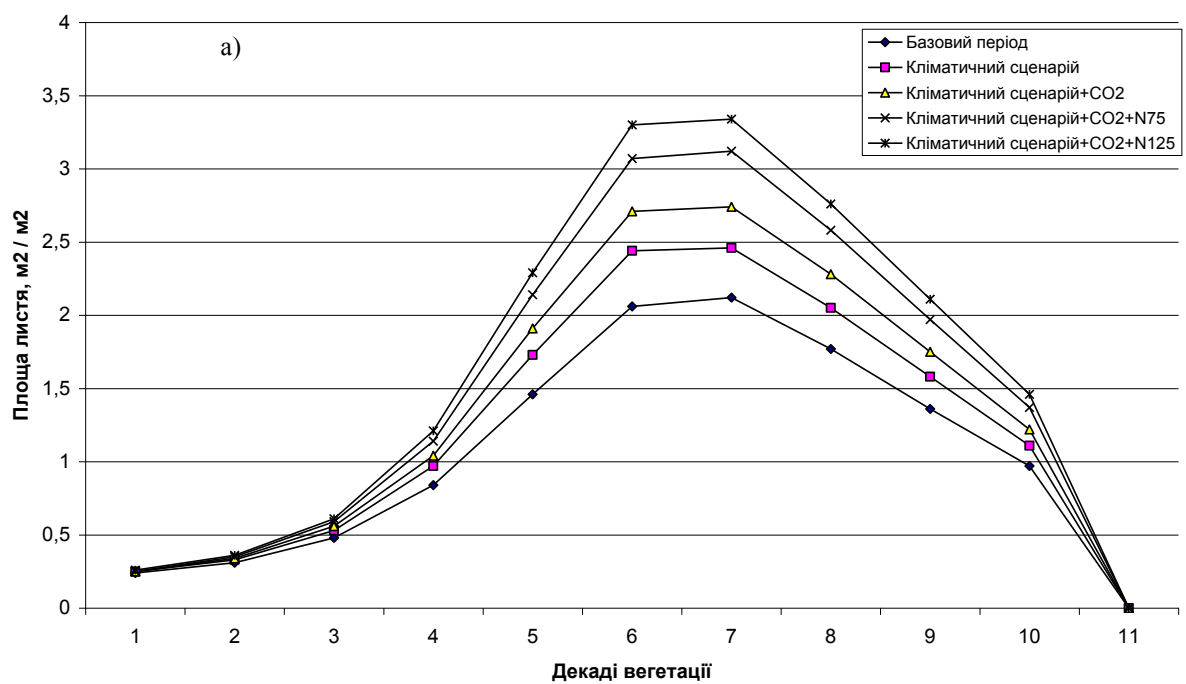


Рис. 3.1. Динаміка відносної площі листкової поверхні озимої пшениці в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями: на 2011 – 2030 рр. (а) і на 2031 – 2050 рр. (б)



При внесенні азотних добрив в дозі 125 кг (д.р.)/га максимальна площа листя досягатиме 3,34 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Фотосинтетичний потенціал посівів збільшиться при внесенні добрив на 37 – 46 % в порівнянні з базовим періодом.

Для II-го періоду також буде характерним швидке формування асимілюючої поверхні посівів (рис. 3.1б), але в порівнянні з базовим періодом, воно буде відбуватись з деяким запізненням. Підвищення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері до 520 ppm особливо при внесенні азотних добрив призведе до стрімкого наростання площі листя, яке в період максимальних значень досягне 3,42 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Збільшення фотосинтетичного потенціалу при внесенні добрив становитиме 45 – 54 % в порівнянні з базовим періодом (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Фотосинтетична продуктивність озимої пшениці

Період	Варіант	Період максимального росту		Фотосинтетичний потенціал посівів м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> за вегетаційний період	Урожай, ц/га
		площа листової поверхні, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	приріст загальної сухої біомаси, г/м <sup>2</sup> за день		
1970–2010	Базовий	2,12	13,7	123,66	27,5
2011–2030	Клімат	2,46	15,8	137,21	29,9
	Клімат + CO <sub>2</sub>	2,74	18,0	151,0	34,1
	Клімат + CO <sub>2</sub> + N <sub>75</sub>	3,11	20,7	169,06	39,2
	Клімат + CO <sub>2</sub> + N <sub>125</sub>	3,34	22,2	180,6	42,2
2031–2050	Клімат	2,41	13,9	138,75	30,2
	Клімат + CO <sub>2</sub>	2,84	17,0	160,97	36,9
	Клімат + CO <sub>2</sub> + N <sub>75</sub>	3,20	19,4	179,11	42,1
	Клімат + CO <sub>2</sub> + N <sub>125</sub>	3,42	20,9	190,32	45,2

Інтенсивність фотосинтезу буде підвищуватись з початку вегетації до 5 – 6-ої декад, потім поступово буде знижуватись (рис. 2.2).

В I-й період за рахунок зміни кліматичних умов відбудеться підвищення інтенсивності фотосинтезу на 0,4 – 0,9 мг CO<sub>2</sub> /дм<sup>2</sup>·год. (рис. 3.2а). За умов збільшення CO<sub>2</sub> різниця в інтенсивності фотосинтезу збільшиться до 0,7–1,4 мг CO<sub>2</sub> /дм<sup>2</sup>·год., а внесення добрив підвищить рівень інтенсивності фотосинтезу посівів на 1,0 – 2,4 мг CO<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>·год.

Як видно з даних табл. 3.4, зміна кліматичних умов, збільшення вмісту CO<sub>2</sub> та внесення добрив призведе до підвищення інтенсивності фотосинтезу посівів в декаду з його максимальними значеннями з 10,2 до 12,3 мг CO<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>·год.

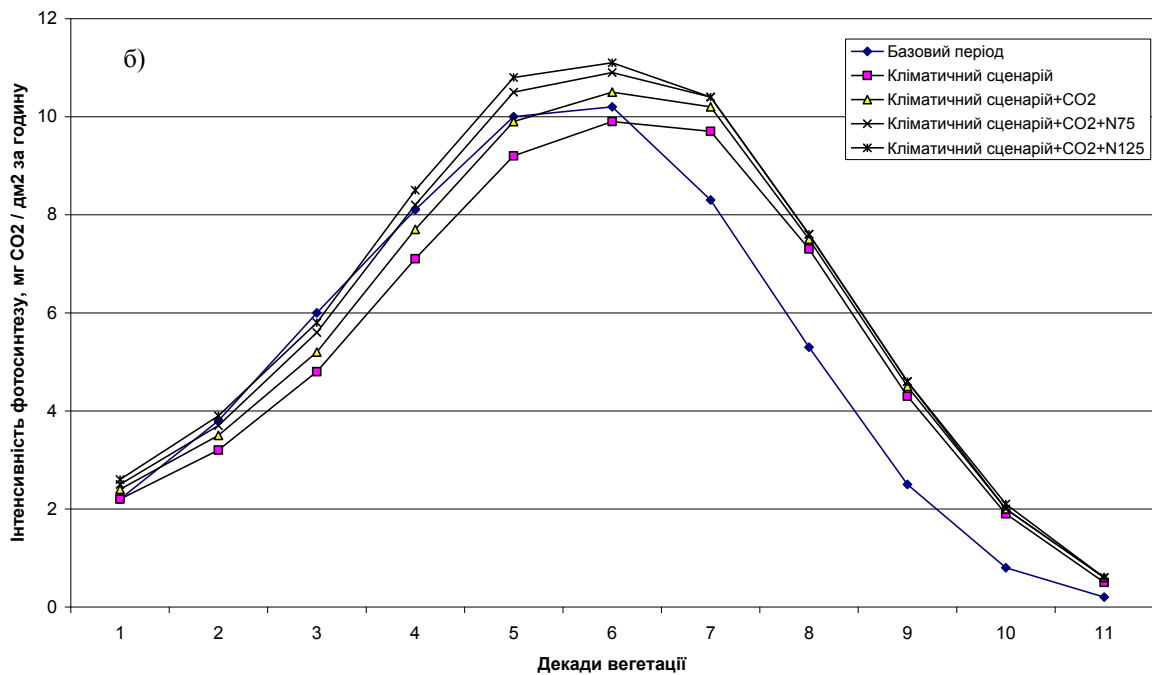
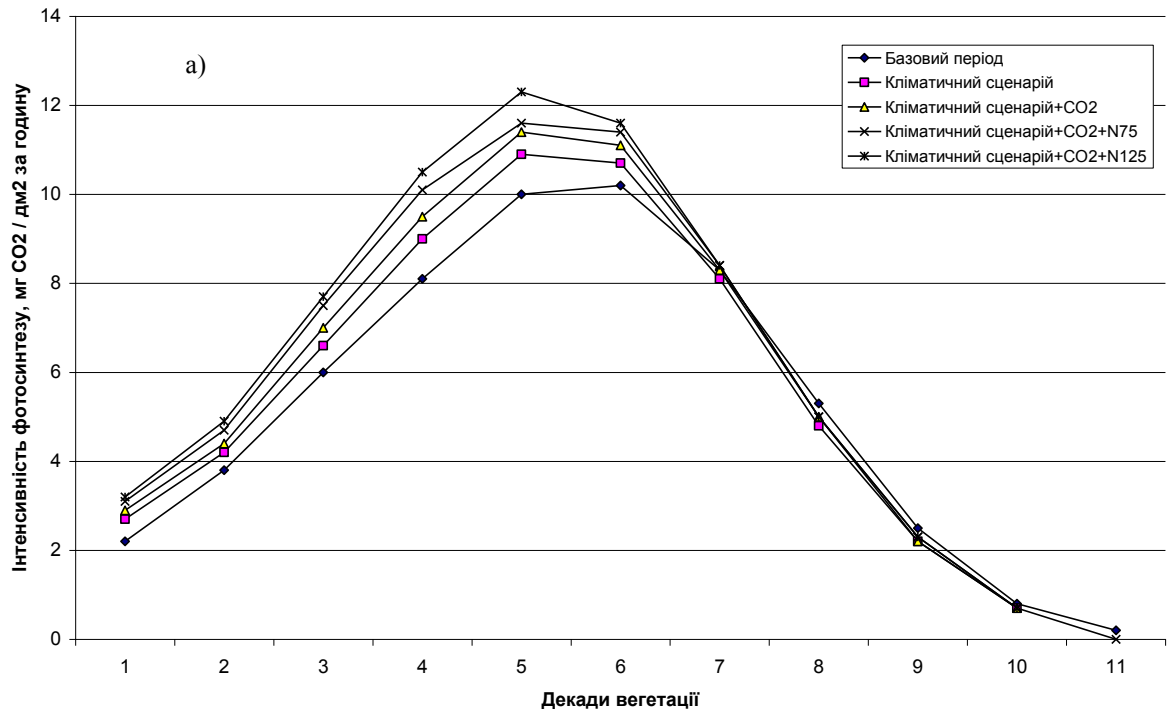


Рис. 3.2. Динаміка інтенсивності фотосинтезу озимої пшениці в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями: на 2011 – 2030 рр. (а); на 2031– 2050 рр. (б).

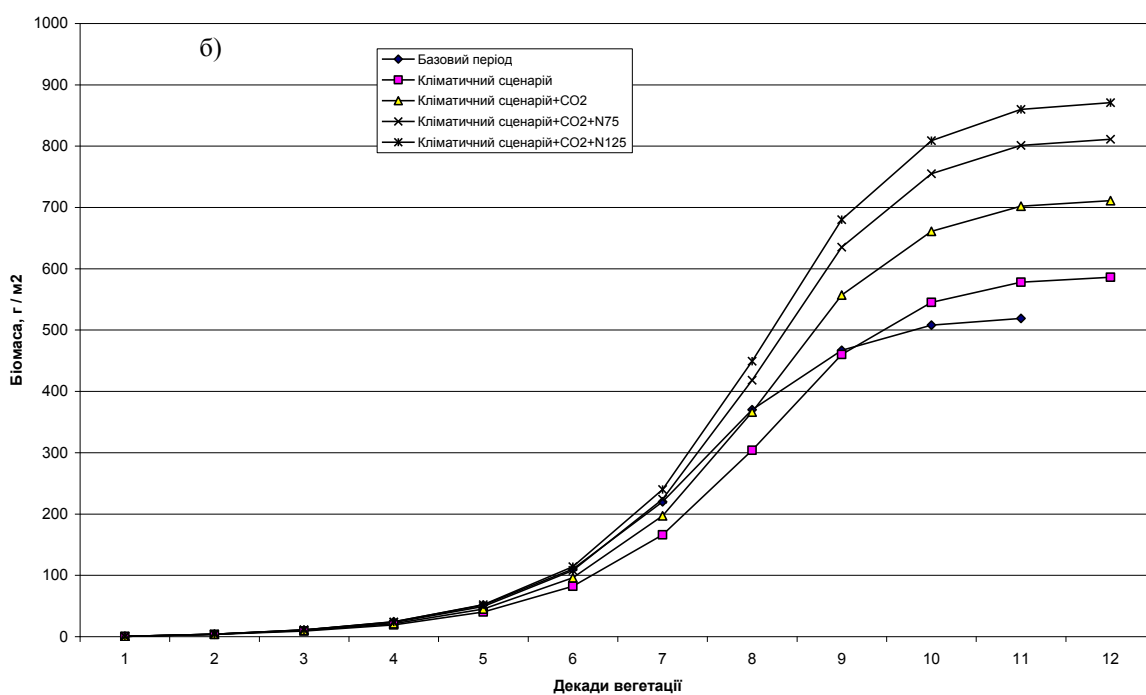
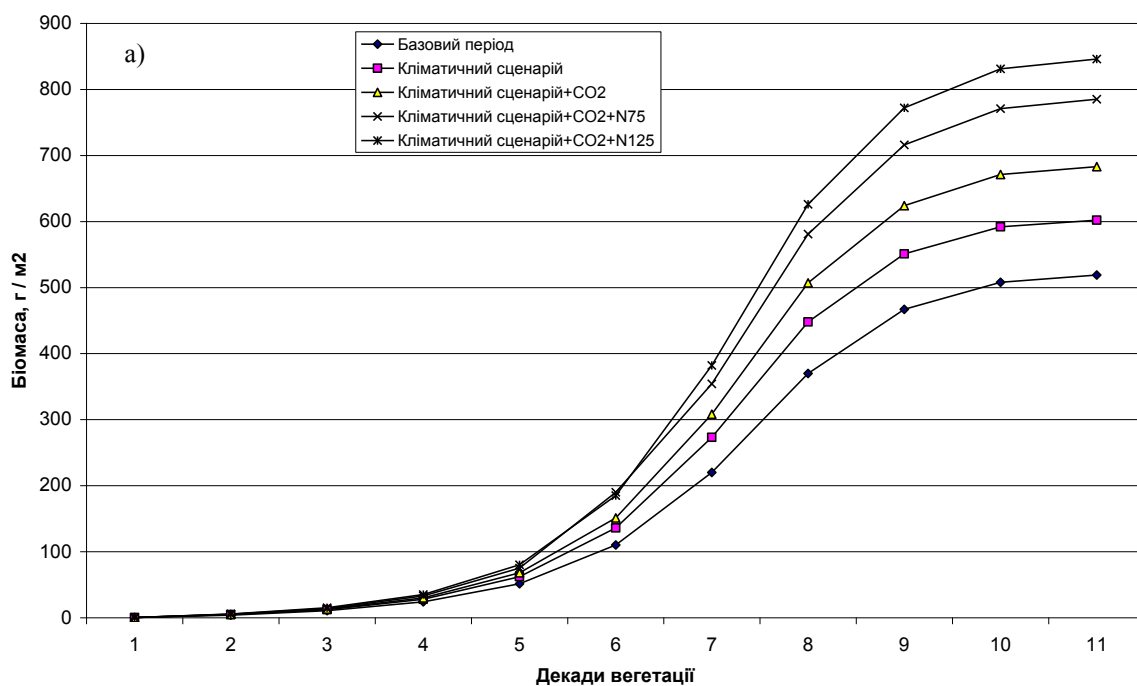


Рис. 3.3. Динаміка загальної сухої біомаси озимої пшениці в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями: на 2011 – 2030 рр. (а); на 2031– 2050 рр. (б).

Запізнення формування площі листової поверхні в II-й період призведе до більш низьких рівнів інтенсивності фотосинтезу від початку вегетації до колосіння – цвітіння (рис. 3.2б) порівняно з базовим періодом. В умовах збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері з 380 до 470 ppm, підвищиться рівень інтенсивності фотосинтезу посівів в декаду з його максимальними значеннями з 10,2 до 10,5 мг CO<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>·год., а при внесенні добрив – до 10,9 – 11,1 мг CO<sub>2</sub>/дм<sup>2</sup>·год.

Такий хід площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу обумовив і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів озимої пшениці (рис. 3.3).

При кліматичних умовах I-го періоду накопичення загальної біомаси йтиме досить швидкими темпами (рис. 3.3а). Найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися в 7 – 8 декади вегетації. За рахунок змін кліматичних умов максимальний приріст збільшиться від 13,7 до 15,8 г/м<sup>2</sup> за день (на 15 %). З врахуванням зміни вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері до 470 ppm це зростання буде ще більшим (на 31%). Внесення добрив збільшить максимальні прирости біомаси до 20,7 – 22,2 г/м<sup>2</sup> за день (табл. 3.5). Вони сягатимуть 151 – 162 % в порівнянні з базовим періодом.

Зміна кліматичних умов в II-й період суттєво не позначиться на збільшенні приростів біомаси порівняно з базовим періодом (рис. 3.3б). Підвищення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері до 520 ppm збільшить рівень приростів загальної біомаси особливо в декади перед колосінням-цвітінням. Прирости збільшаться з 13,7 до 17,0 г/м<sup>2</sup> за день або на 24 %. При внесенні добрив максимальний приріст загальної біомаси досягатиме 9,4 – 20,9 г/м<sup>2</sup> за день або на 42 – 53 %.

Зростання рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів озимої пшениці в умовах зміни клімату обумовить і збільшення урожаю зерна (табл. 3.5, рис. 3.4), особливо при внесенні добрив.

У I-й період урожай зерна зросте з 27,5 до 29,9 ц/га (на 8,7 %). Підвищення концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері обумовить зростання рівня урожаю зерна на 24 %. Внесення добрив в дозі N<sub>75</sub> (75 кг (д.р.)/га) підвищить цей ефект зростання урожаю на 42 %, а внесення дози N<sub>125</sub> (125 кг(д.р.)/га) дозволить отримати урожай зерна на 53 % вищий в порівнянні з базовим періодом.

Для II-го періоду за рахунок тільки зміни кліматичних умов буде також характерним збільшення урожаю зерна до 30,2 ц/га (на 10 %).

При збільшенні вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері від 380 до 520 ppm відбудеться збільшення урожаю зерна до 36,9 ц/га (на 34 %). У цей періоді внесення добрив на фоні зміни кліматичних умов та суттєвого збільшення вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері дасть ще більший ефект, ніж у I-у періоді. В залежності від дози внесених добрив (N<sub>75</sub> і N<sub>125</sub>) урожай зерна складатиме при внесенні добрив в дозі N<sub>75</sub> – 42,1 ц/га, а при дозі N<sub>125</sub> – 45,2 ц/га, що відповідно на 42 та 45 % вище в порівнянні з базовим періодом.

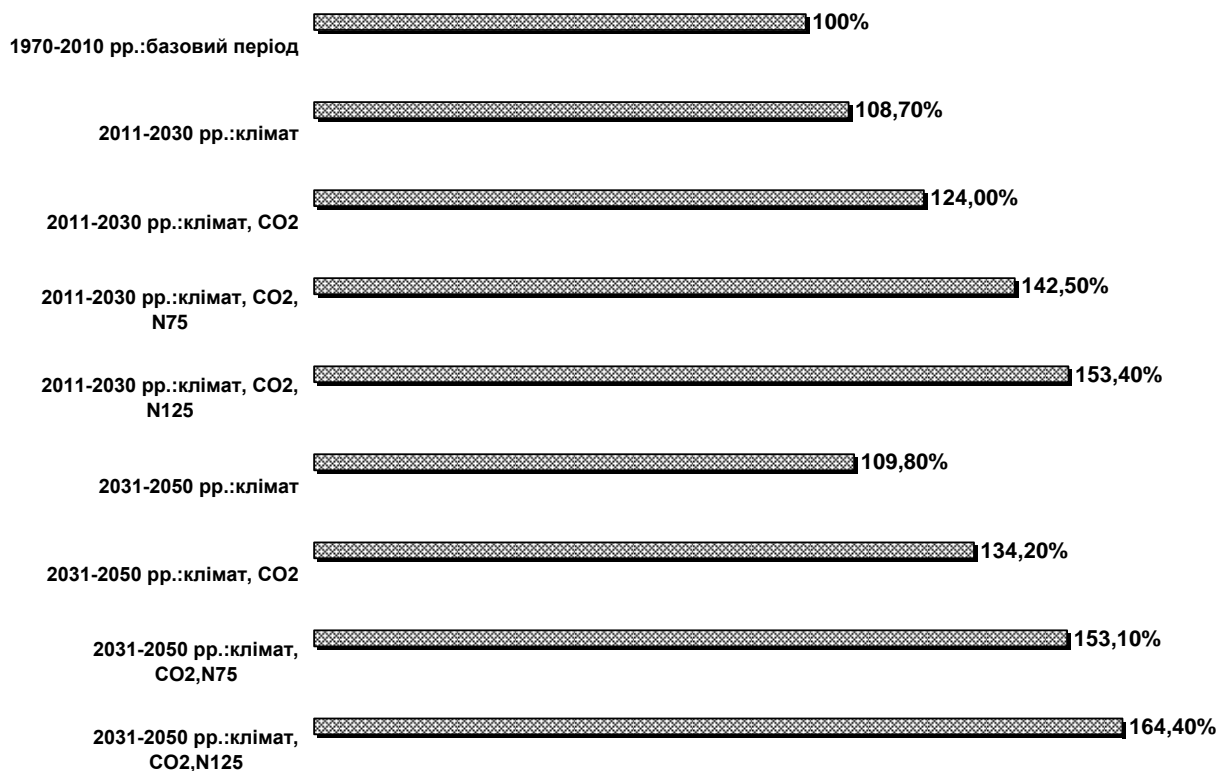


Рис. 3.4. Зміна урожайності озимої пшениці в умовах зміни клімату в порівнянні з базовим періодом за сценаріями на 2011 – 2030 рр. та 2031 – 2050 рр.

### Запитання для самоперевірки:

1. Як змінюються фази розвитку озимої пшениці?
2. Що лежить в основі визначення характеристик фотосинтетичної продуктивності рослин?
3. Як змінюються характеристики фотосинтезу культури?
4. Як змінюються характеристики динаміки площі листя культури?
5. Як змінюються характеристики динаміки біомаси культури?
6. Як змінюються характеристики урожайності культури при зміні внесення добрив?
7. Як змінюються характеристики урожайності культури при зміні рівню CO<sub>2</sub>?

### Підсумковий контроль

Дисципліна викладається у 3-му семестрі навчального плану магістрів. Вся програма розбита на 3 змістових модулі. В цілому на дисципліни відводиться 100 балів: (ЗМЛ1 - 40 балів; ЗМЛ2 - 30 балів; ЗМЛ3 – 30 балів).

Підсумкова атестація (залік) йде за загальною сумою балів. Суми балів, які отримав студент за всіма змістовними модулями (заліковими одиницями) з дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі України (розділ сільське господарство)», формують інтегральну оцінку поточного контролю студента з навчальної дисципліни. Вона є підставою для допуску студента до семестрового заліку. Студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю (ПСК) з дисципліни, якщо він виконав всі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни і набрав за модульною системою суму балів не менше 50 % від максимально можливої за практичну та теоретичну частини (для заліку).

Підсумковий семестровий контроль передбачає дві форми оцінювання успішності засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни:

-Кількісна оцінка (бал успішності) – це відсоток, який становить інтегральна сума балів, отриманих студентом на контролюючих заходах, по відношенню до максимально можливої суми балів, яка встановлена робочою програмою дисципліни.

-Якісна оцінка – це оцінка, яка виставляється на підставі кількісної оцінки (бал успішності) для заліку за двобальною шкалою, В – інтегральна оцінка, яка розраховується за формулою:

$$B=0,75 \cdot O3+0,25 \cdot OKP,$$

при цьому ОКР має бути  $\geq 50\%$ ;  $O3 \geq 60\%$ .

<60 % від інтегральної оцінки – «не зараховано»;

>60 % від інтегральної оцінки – «зараховано».

Контрольна робота за кожним із ЗМЛ включає питання за темами змістових модулів.

Кожний варіант контрольної роботи вміщує теоретичні питання, максимальна кількість балів за контрольну роботу №1 – 40 балів, №2 – 30 балів, №3 – 30 балів.

Підсумкове оцінювання виконується за загальною сумою балів за всіма відповідями:

«відмінно» - сума балів становить 90-100;

«добре» - сума балів становить 75-89;

«задовільно» - сума балів становить 60-74;

«незадовільно» - менше 60.

Підсумкова оцінка з дисципліни виставляється як сумарна за контрольні роботи і залікову контрольну роботу. Максимально студент може отримати 100 балів.

Оцінки виставляються у поточних інтегральних відомостях.

## Список літератури

1. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – С-Пб: Гидрометеиздат, 1992. – 424 с.
2. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. – Київ: КНТ, 2007. – 344 с.
3. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
4. Польовий А.М. Вплив антропогенних змін клімату на сільське господарство. Конспект лекцій. Одеса: «Екологія».2013. – 105 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Тема 1. Базова динамічна модель формування продуктивного процесу рослин для оцінки реакції сільськогосподарських культур на зміни клімату.....	4
1.1 Концепція моделювання.....	4
1.2 Моделювання радіаційного і теплового режимів рослинного покриву.....	7
1.3 Моделювання водного режиму рослинного покриву.....	9
1.4 Моделювання процесів фотосинтезу, дихання та старіння рослин.....	13
1.5 Моделювання мінерального живлення рослин.....	14
1.6 Моделювання росту рослин.....	18
Тема 2. Оцінка впливу змін клімату на зміни агрокліматичних ресурсів окремого регіону.....	21
2.1 Матеріали та методи досліджень.....	21
2.2 Узагальнена оцінка змін агрокліматичних ресурсів регіону у зв'язку зі змінами клімату.....	22
2.2.1 Теплозабезпеченість вегетаційного періоду.....	22
2.2.2 Вологозабезпеченість вегетаційного періоду.....	25
Тема 3. Оцінка змін клімату на продуктивність сільськогосподарських культур окремого регіону.....	27
3.1 Агрокліматичні умови вирощування озимої пшениці.....	27
3.2 Фотосинтетична продуктивність та коливання урожаїв озимої пшениці у зв'язку зі змінами клімату.....	30
Підсумковий контроль.....	37
Список літератури.....	39



‘Методичні вказівки  
до самостійної роботи магістрів з дисципліни  
"Вплив кліматичних змін на галузі економіки України (розділ  
сільське господарство)»

Спеціальність – 8.0410505 «Агрометеорологія»

Укладач: д.г.н., проф. Польовий Анатолій Миколайович

Підп. до друку  
Умовн. друк. арк.

Формат  
Тираж

Папір  
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65012, Одеса, вул. Львівська, 15

---