



Tempus

Л.Ю. БОЖКО  
О.Л. ЖИГАЙЛО

# **БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ЯКОСТІ ВРОЖАЮ**

(Конспект лекцій)

Одеса

2013

Міністерство освіти і науки України  
Одеський державний екологічний університет

**Л.Ю. БОЖКО  
О.Л. ЖИГАЙЛО**

# **БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ЯКОСТІ ВРОЖАЮ**

Затверджено Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як  
посібник для студентів вищих навчальних закладів

511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR

Одеса  
2013

ББК 41.47  
Б 76  
УДК 631 : 55

Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України  
(лист № 1/11 – 17260 від 6.11.2012 )

**Божко Л.Ю., Жигайло О.Л.**

Біологічні основи формування кількості та якості врожаю. Конспект лекцій. –  
Одеса, 2013 . – 154 С.

В конспекті лекцій викладені дослідження біологічних основ формування кількості та якості врожаю на основі теорії енерго- і масообміну в системі ґрунт – рослина – атмосфера, а також впливу факторів навколишнього середовища на ріст, розвиток і формування продуктивності сільськогосподарських культур з позицій кількісної теорії фотосинтезу.

Видання підготовлено в рамках проекту 511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR «Система управління для навчальних програм, пов'язаних із вивченням навколишнього середовища» та призначено для студентів і аспірантів навчальних закладів гідрометеорологічного та екологічного напрямків навчання, для науковців та фахівців, які працюють в галузі сільськогосподарської метеорології, екології, сільського господарства.

Проект фінансується за підтримки Європейської Комісії. Зміст даної публікації є предметом відповідальності автора і не відображає точку зору Європейської Комісії.

© Божко Л.Ю.,  
Жигайло О.Л. , 2013  
© Одеський державний  
екологічний університет, 2013

## ПЕРЕДМОВА

Врожайність є результатом біологічних та біофізичних процесів, які відбуваються в рослинах та напрям яких залежить від генетичної природи самих рослин та умов навколишнього середовища.

Умови навколишнього середовища – це потужний фактор регулювання росту та розвитку рослин, окремих їх органів, проходження всього вегетаційного процесу.

Межа використання зовнішніх умов залежить від внутрішніх генетичних і біологічних можливостей механізмів, а ступінь реалізації цих можливостей - від комплексу зовнішніх умов.

Продуктивний процес рослин протікає впродовж трьох етапів – ембріонального, репродуктивної зрілості, розмноження. Умови проходження кожного з цих етапів різною мірою впливають на кількість і якість продукції.

В ювенільний період визначаються лише загальні можливості продуктивного процесу. Реалізація цих можливостей залежить від конкретних умов наступного періоду росту та розвитку.

В період репродуктивної зрілості відбувається найбільш активне накопичення біомаси і проходять основні етапи органогенезу [17]. Від умов, в яких формується генетична програма, значною мірою визначаються контури майбутнього врожаю. Особливе значення для продуктивного процесу мають умови в період формування тих органів, які складають урожай, тобто в критичні періоди у відношенні основних факторів середовища – світла, тепла, вологи, живлення. Деякі з цих факторів можна регулювати за допомогою агротехнічних заходів.

Формування врожаю – процес не тільки кількісний, але і якісний [17]; в ньому безперервно весь час змінюються процеси живлення, співвідношення між різними їх видами, використання речовин, які утворились в процесі живлення на ріст та формування органів, спочатку тих, що живлять, а потім тих, що запасують, репродуктивних.

Умови навколишнього середовища, які впливають на рослини, впливають на напрям процесів і функцій, які закладені в генетичних властивостях рослин і які знаходяться у взаємозв'язку між собою

В останній час виконанні глибокі і детальні дослідження взаємозв'язків, процесів, які відбуваються в рослинах, та умов їх вирощування, розроблено велику кількість динамічних моделей описування продуктивного процесу [11,12,13,15,16,19,24]. Запропоновано багато різних методів визначення залежності врожаю від факторів навколишнього середовища. На основі досліджень, проведених у Гідрометеорологічному центрі Росії, Українському гідрометеорологічному центрі та в Українському науково-дослідному гідрометеорологічному інституті, регіональних гідрометеорологічних центрах та науково-

дослідних гідрометеорологічних інститутах на теренах СНГ, були розроблені кількісні методи, які дозволяють давати оцінку впливу агрометеорологічних умов в різні періоди розвитку рослин на їх продуктивність.

Технічний прогрес і загальне зростання культури землеробства дозволяють повніше використовувати у сільськогосподарському виробництві сприятливі метеорологічні умови та переборювати несприятливі. Із зростанням культури землеробства значення досліджень впливу агрометеорологічних умов на продуктивність сільськогосподарських культур зростає. Вони використовуються при розробці заходів, що забезпечують підвищення ефективності у боротьбі з несприятливими умовами погоди.

Конспект лекцій присвячено вивченню закономірностей впливу навколишнього середовища на ріст і формування продуктивності рослин.

Конспект лекцій створено на матеріалах великої кількості публікацій, в яких містяться результати розробки різних методів дослідження впливу агрометеорологічних умов на продуктивність рослин в різних природно-кліматичних зонах. У конспекті лекцій наводиться бібліографічний список, на основі якого і було складено цей конспект.

Автори висловлюють глибоку подяку завідувачу кафедри професору А.М. Польовому за цінні поради і зауваження, О.А Барсуковій за участь у технічній обробці матеріалів для рукопису, а також О.Д. Соколенко за допомогу при редагуванні та доброзичливе ставлення.

# 1. БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ УРОЖАЇВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

## 1.1 Поняття про агроекосистему і систему грунт - рослина - атмосфера

Екологічна система являє собою складний об'єкт, який складається із багатьох сотень видів організмів і який має здатність до накопичення та багаторазового використання речовини і енергії, має велику кількість механізмів, які підтримують цілісність його структури в умовах середовища, що постійно змінюються.

Під впливом направленої антропогенної дії природні екосистеми руйнуються і на їхньому місці утворюються штучні *агроекологічні* системи. Агроекологічною системою називається спеціальний вид екосистеми - екологічна система сільськогосподарського поля, на якому вирощуються культурні рослини, ростуть інші види рослин і тварин і відбувається складний ланцюг фізичних і біогеохімічних трансформацій енергії та речовини. На відміну від природних екосистем в агроекологічних системах саморегуляція зруйнована, розірвані більшість зворотних зв'язків і зруйновано природний обмін енергією і речовиною на різних трофічних рівнях. В агроекологічній системі фітоценоз не може самовідновлюватись, для цього необхідна антропогенна діяльність.

*Біотична* частина агро екосистеми має всі ланки, які характерні для будь – яких надземних систем: продуценти, консументи і редуценти. Разом з популяціями живих організмів різних видів до складу агро екосистеми входять певні абіотичні компоненти, пов'язані з біотичними компонентами та із зовнішніми різними відношеннями, які поряд із зовнішніми біотичними компонентами утворюють структуру агро екосистеми і відіграють важливу роль у функціонуванні її як єдиного цілого.

*Абіотична* частина системи – середовище мешкання рослин і тварин – використовується ними як життєвий простір і як джерело енергії і мінеральних елементів.

Абіотична частина системи одночасно знаходиться в двох середовищах – в приземному шарі повітря та у верхніх шарах літосфери і дуже активно взаємодіє з ними.

Із неорганічних сполук, які надходять із зовнішнього середовища, рослини синтезують вуглеводи і інші речовини, багаті хімічною енергією органічної речовини. Надходження енергії відбувається на межі рослин з фізичним середовищем. Так, процес фотосинтезу відбувається в листі, стеблах та репродуктивних органах рослин, тобто на межі рослини і атмосфери. Надходження води та мінеральних речовин здійснюється через межі коріння і ґрунту. Обидва названі процеси відбуваються в рослинах одночасно і зв'язок між ними забезпечує складна сукупність процесів

переносу всередині рослин (вуглецевий і водний обмін рослин, обмін мінеральних речовин).

Склад і режим повітряного і ґрунтового середовища знаходиться під безпосередньою дією внутрішніх компонентів агроєкосистеми та відчуває сильний вплив зовнішніх атмосферних та ґрунтових процесів.

Під дією цих процесів змінюється повітряне та ґрунтове середовище мешкання рослин [52].

У повітряному середовищі ці зміни охоплюють наступні процеси енерго- та масообміну між рослинним покривом і атмосферою: перенесення сонячної радіації в рослинному покриві, її поглинання і розсіювання фітоелементами, поглинання і відбиття сонячної радіації ґрунтом, ослаблення швидкості вітру та зміна характеристик атмосферної турбулентності в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, конвективне перенесення тепла в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього, виділення водяної пари з ґрунту (випаровування) і фітоелементів (транспірація) і їх перенесення в повітрі. Під впливом цих процесів формуються температурні режими ґрунту і рослинності. Разом з тепловим випромінюванням атмосфери вони зумовлюють перенесення теплового випромінювання в шарах повітря над рослинним покривом і всередині нього. Процеси фотосинтезу і дихання рослинного покриву визначають режим вуглекислого газу, що охоплює виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту, його перенесення в повітрі і поглинання (вдень) або виділення (вночі) рослинами. Протилежно перенесенню  $\text{CO}_2$  йде перенесення кисню та його поглинання ґрунтом і виділення (вдень) або поглинання (вночі) рослинами.

Ґрунтове середовище є свого роду фокусом агроєкосистеми, оскільки воно пов'язане з усіма іншими її компонентами, причому підтримка цих зв'язків має життєво важливе значення для функціонування всієї агроєкосистеми. Її властивості доцільно розбити на дві групи.

Перша група включає відносно консервативні властивості, хоч і різні в ґрунтах різних агроєкосистем, але в кожному конкретному типі ґрунту змінюються порівняно мало. Вони відображають початкові умови формування і сучасний комплекс екологічних чинників в даній агроєкосистемі. Це основні фізичні і хімічні властивості ґрунтової маси (щільність, пористість, механічний склад, валовий хімічний склад, вміст гумусу і азоту, кислотність, місткість катіонного обміну), а також біомаса і розподіл живих організмів.

Другу групу властивостей ґрунту утворюють досить мінливі характеристики ґрунтового профілю, які визначаються процесами взаємодії ґрунту з атмосферою і рослинним покривом. Під впливом цих процесів формується тепловий, водний і повітряний режим ґрунту, вміст в ґрунті елементів мінерального живлення.

Вся система «грунт – рослина – атмосфера» ділиться на шість горизонтальних шарів (рис. 1.1). По вертикалі від поверхні ґрунту до верхньої межі рослинності  $z_o = h_o(t)$  і до нижньої межі поширення коріння  $r_o(t)$  виділяється внутрішнє середовище – невід’ємна складова частина агроєкосистеми. Це відповідно атмосферне і ґрунтове середовище агроєкосистеми. До них примикають перехідні, буферні зони з верхньою межею  $H_1$  для атмосферного середовища та нижньою межею  $R_1$  для ґрунтового середовища агроєкосистеми. В цих зонах елементи фітомаси відсутні, але їх фізичні характеристики, завдяки процесам обміну, зберігають деяку залежність від культурного фітоценозу (агроценозу).

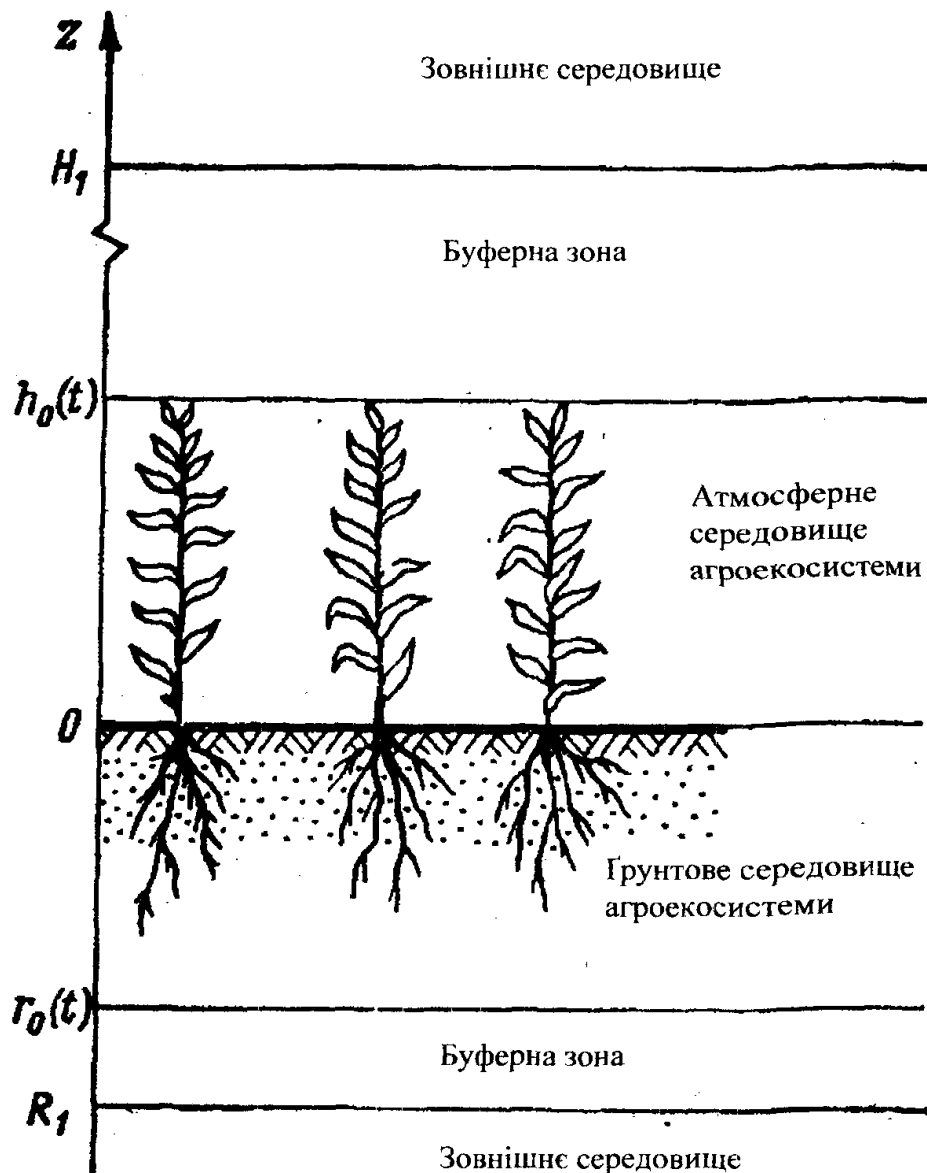


Рис. 1.1- Схема системи «грунт - рослина – атмосфера».



Властивості внутрішнього атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми, що охоплюють приземний шар атмосфери і верхні шари ґрунту, визначаються процесами взаємодії з іншими компонентами агроєкосистеми (теплообмін, вологообмін, фотосинтез, дихання та ін.) На відміну від них властивості зовнішнього середовища агроєкосистеми ( $z > H_1$  і  $z < R_i$ ) формуються під впливом процесів іншого, більш великого масштабу, незалежних від впливу агроєкосистеми: атмосферних процесів і процесів, що протікають у підстильній породі.

Межа зовнішнього і внутрішнього середовища агроєкосистеми вельми рухлива у часі і в просторі, вона визначається ростом і розвитком агрофітоценозу. У залежності від вигляду агрофітоценозу і фази його розвитку, межа атмосферного і ґрунтового середовища агроєкосистеми може коливатися від декількох десятків сантиметрів до декількох метрів.

Для системи ґрунт- рослина – атмосфера характерна висока складність, цілісність, динамічність здатність до саморегулювання і адаптації [6,67,78].

## 1.2 Радіаційний і тепловий режим рослинного покриву

### 1.2.1 Радіаційний режим рослинного покриву

Радіаційний режим рослинного покриву (РП) формується внаслідок переносу променистої енергії Сонця між рослинами. Величина переносу залежить від геометричної структури РП. Геометрична структура РП (Ю.К.Рос, Т.А.Нільсон) характеризується за допомогою таких функцій [6,39, 51]:

1. Площі листя в одиниці об'єму РП на висоті  $z$  –  $u_L(z)$ ;
2. Відносної площі листя РП

$$L_o = \int_0^{z_o} u_L(z) dz; \quad (1.1)$$

3. Відносної площі листя вище заданого рівня  $z$

$$L(z) = \int_z^{z_o} u_L(z') dz', \quad (1.2)$$

де  $z$  – висота всього РП.

4. Просторової орієнтації листя  $q_L(z, r_L)$ ,

де  $r_L = (\theta_L, \varphi_L)$  – напрям нормалі верхньої сторони листка;

$\theta_L$  – кут похилу нормалі листка, який відраховується від вертикальної осі;

$\varphi_L$  – азимут нормалі листка, який відраховується від півночі по годинниковій стрілці.

Функція  $dz$  різна у різних культур та сортів.

Кут похилу листя різний у різних ярусах. Крім того, впродовж вегетаційного періоду розподіл листя щодо кута похилу також суттєво змінюється. Так, для деяких ярових зернових культур до колосіння найбільша кількість листків має кути похилу  $75-90^0$ . У період молочної стиглості –  $45-60^0$ , у період воскової стиглості листя мають кути похилу  $0-15^0$ . Із зміною кута похилу листя пов'язано споживання променистої енергії Сонця.

Промениста енергія Сонця є джерелом біологічних та фізіологічних процесів, які відбуваються у системі ґрунт-рослина-атмосфера. Сонячна радіація вступає у взаємодію з РП та під впливом цієї взаємодії значно змінюється. Ці зміни залежать від висоти Сонця ( $h_0$ ), геометричної структури посівів, від виду РП та спектрального складу фотосинтетичної активної радіації (ФАР).

Промениста енергія Сонця є джерелом усіх біофізичних і фізіологічних процесів, які відбуваються в системі ґрунт-рослина-атмосфера. Сонячна радіація, яка проходить крізь атмосферу, відбивається від підстильної поверхні, при цьому змінюється і перетворюється на інші види енергії, головним чином на теплову; інша частка розсіюється в атмосфері молекулами газів, аерозолями та хмарами.

Внаслідок поглинання і розсіювання в атмосфері на поверхню Землі сонячна радіація надходить вже змінена. Ту частину радіації, що надходить від Сонця у вигляді пучка паралельного проміння, називають прямою сонячною радіацією, а ту, що розсіюється в атмосфері і надходить на поверхню землі з усіх частин небосхилу у вигляді дифузійної радіації - розсіяною радіацією. У сукупності пряма і розсіяна сонячна радіація складають сумарну радіацію.

Як пряма, так і розсіяна радіація, надходячи на поверхню Землі, частково відбивається від неї і спрямовується назад в атмосферу у вигляді відбитої радіації. Всі ці види радіації мають назву короткохвильова радіація (КХР) на відміну від теплової або інфрачервоної (ІЧР) радіації, які випромінюються атмосферою і поверхнею Землі.

В біофізичному аспекті спектр радіації Сонця і неба поділяють на чотири інтервали:

- 1) *ультрафіолетова (УФР)* з довжиною хвиль  $0,29-0,38\text{мкм}$ ;
- 2) *фотосинтетично активна радіація (ФАР)* з довжиною хвиль від  $0,38$  до  $0,71\text{ мкм}$ ;
- 3) *близька інфрачервона радіація (БІЧР)* з довжиною хвиль від  $0,71$  до  $4,0\text{ мкм}$ ;

4) *інфрачервона радіація (ІЧР)* з довжиною хвиль від 4,0 до 100,0 мкм.

Вплив радіації на рослини визначається у *трьох напрямках*:

- 1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70% перетворюється на тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін.;
- 2) *фотосинтетичний ефект* сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра 0,38-0,71 мкм радіації (область **ФАР**) до 28% використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин;
- 3) *фотоморфогенетичний (регулюючий) ефект* сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин. Активна частина радіації, що впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон **ФАР** і закінчується на порозі близько 0,76 мкм, тобто в початковому діапазоні **БІЧР**.

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами довкілля в значній мірі визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посівів, так і в середині його, є підставою для чинних методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

Вся радіація, що надходить на поверхню Землі, вступає у взаємодію з фітоелементами. Внаслідок цього змінюється густина потоку радіації, просторова структура і її спектральний склад.

Радіаційне поле всередині рослинного покриву складається із:

- 1) осередненої в горизонтальному напрямку щільності потоку прямої сонячної радіації на глибині  $L - S'(L, h_0)$ ;
- 2) осередненої в горизонтальному напрямку щільності розсіяної радіації неба на глибині  $L - D(L, h_0)$ ;
- 3) щільності потоку радіаційного поля, що виникає всередині рослин внаслідок взаємодії поміж падаючою на рослинний покрив радіацією Сонця і неба та елементами рослин (листя, стебла та ін.).

Перші два види радіації характеризуються коефіцієнтом пропускання:

а) для прямої радіації

$$a_S(L, h_0) = \frac{S'(L, h_0)}{S'_o(h_0)}; \quad (1.3)$$

б) для розсіяної радіації

$$a_\Phi(L, h_0) = \frac{D(L, h_0)}{D_o(h_0)} \quad (1.4)$$

Осереднені потоки  $S'(L, h_0)$  і  $D(L, h_0)$  прямої і розсіяної радіації доходять до заданого рівня без взаємодії з РП і вони за спектральним складом не відрізняються від  $S'_o$  та  $D_o$ .

Радіаційне поле, що виникає внаслідок взаємодії падаючої на РП радіації з елементами РП, розглядають як потік, що вміщує відбиття прямої  $R_S(L, h_0)$  і розсіяної  $R_D(L, h_0)$  радіації. Альбеда – це відношення відбитого від РП потоку до падаючого на нього. Альбеда сумарної радіації:

$$A_k(L, h_0) = \frac{R_k(L, h_0)}{Q_o(h_0)}. \quad (1.5)$$

Напрямок вниз мають потоки тієї частини прямої і розсіяної радіації, що розсіюються елементами РП, відповідно  $S^H(L, h_0)$  і  $D^H(L, h_0)$ , та характеризуються коефіцієнтами  $\alpha_S^H(L, h_0)$  і  $\alpha_D^H(L, h_0)$ . Величина

$$\begin{aligned} \alpha_Q(L, h_0) &= \frac{Q(L, h_0)}{Q_o(h_0)} = \\ &= \frac{S'(L, h_0) + D(L, h_0) + S^H(L, h_0) + D^H(L, h_0)}{S'_o(h_0) + D_o(h_0)} \end{aligned} \quad (1.6)$$

є функцією пропускання сумарної радіації.

Розрахунок величин сумарної радіації на верхній межі посіву проводиться або за даними тривалості сонячного сяйва, або за даними спостережень за хмарністю.

Сумарна радіація ( $Q$ ) – сума прямої ( $S'$ ) і розсіяної радіації ( $D$ ), що падає на горизонтальну поверхню, у даному випадку – на поверхню рослин.

$$Q = S' + D \quad (1.7)$$

Найбільш точні дані значень добових величин сумарної радіації одержують за допомогою стандартних метеорологічних спостережень (актинометричних). Однак мережа станцій, які ведуть відповідні спостереження, не задовольняє вимоги оперативного агрометеорологічного обслуговування різних територій. У такому випадку визначення  $Q$  проводиться за допомогою розрахунків з використанням інших метеорологічних характеристик [12].

Тривалість сонячного сяйва, визначена за допомогою геліографа, дозволяє з високою мірою точності розраховувати величини сумарної радіації. З цією метою використовується формула С.І.Сівкова, яка складається з параметрів, що не входять до інших емпіричних формул,

$$Q = 12,66(SS^J)^{1,31} + 315(\sin h_o^J)^{2,1}, \quad (1.8)$$

де  $SS$  – тривалість сонячного сяйва за добу, кал/см<sup>2</sup>·д;  
 $h_o$  – полуденна висота Сонця, град.

Розрахунок  $\sin h_o$  здійснюється за допомогою виразів:

$$\sin h_o^J = A^{J+B}; \quad (1.9)$$

$$A^J = \sin \varphi \cdot \sin \delta^J; \quad (1.10)$$

$$B = \cos \varphi \cdot \cos \delta^J, \quad (1.11)$$

де  $\varphi$  – географічна широта місця, град;

$\delta$  – схилення Сонця, град.

Таблиця схилення Сонця для весняних і літніх місяців розраховується за поліномом:

$$\delta^J = 0,017453[0,473t^J - 0,196 \cdot 10^{-2}(t^J)^2 - 0,407 \cdot 10^{-5}(t^J)^3 - 0,616], \quad (1.12)$$

де  $t^J$  – порядковий номер доби, за яку розраховується  $\delta^J$ , починаючи з 20 березня.

При відсутності даних спостережень за тривалістю сонячного сяйва сумарну радіацію розраховують за допомогою даних про верхню та загальну хмарність. Це можливо тому, що існує досить чіткий зв'язок між вказаними величинами. М.Е. Берляндом запропонована формула

$$Q^J = Q_o^J [1 - c_n n_n - c_{св} (n - n_n)], \quad (1.13)$$

де  $Q_o^J$  – сумарна радіація за ясного неба, кал/см<sup>2</sup> · д;

$c_n=0,72$  – коефіцієнт для хмар нижнього ярусу, безрозмірний;

$c_{св}= 0,26$  – коефіцієнт для хмар верхнього і середнього ярусів, безрозмірний;

$n_n$  і  $n$  – середні значення кількості хмар нижнього ярусу і загальної хмарності в частках одиниці за світлу пору доби.

Значення  $Q_o$  розраховується згідно з формулою Сівкова (1.8). При цьому вважається, що тривалість сонячного сьйва за ясного неба визначається тривалістю дня  $\tau_d$ , тобто тривалістю періоду від сходу до заходу Сонця

$$\tau_d = \tau_3^j - \tau_c^j. \quad (1.14)$$

Час сходу  $\tau_c$  і заходу  $\tau_3$  визначається в залежності від географічної широти місця і схилення Сонця з формул:

$$\tau_3^j = 12 + 12/180[\arccos(-f^j / B^j)]; \quad (1.15)$$

$$\tau_c = 24 - \tau_3^j. \quad (1.16)$$

Найбільш цінна в сільськогосподарському відношенні область спектра сонячної радіації – ФАР (фотосинтетично активна радіація). Від інтенсивності ФАР залежить продуктивність фотосинтезу рослин і, як наслідок, процес формування врожаю сільськогосподарських культур.

Середньодобова інтенсивність ФАР на верхній межі посіву в агрометеорологічних розрахунках визначається в залежності від добового надходження сумарної радіації, що падає на рослини, і тривалості світлої пори доби, тобто тривалості дня  $\tau_d$

$$J_o^j = kQ^j / 60\tau_d^j, \quad (1.17)$$

де  $J_o^j$  – інтенсивність ФАР на верхній межі посіву, кал/см<sup>2</sup> · хв ;

$k$  – коефіцієнт переходу від сумарної радіації до ФАР, безрозмірний.

Величина коефіцієнта залежить від характеру хмарності, запиленості і вологості атмосфери, висоти Сонця. В першому припущенні середне значення  $k = 0,5$ .

Більш надійним методом розрахунку ФАР є формула, що обгрунтовується даними актинометричних спостережень за прямою і розсіяною радіацією,

$$\sum J_o^j = 0,435S' + 0,57D, \quad (1.18)$$

де  $\sum J_o^j$  – сумарна ФАР на верхній межі посіву за добу,

кал/см<sup>2</sup>·д;

$S'$ ,  $D$  – добові величини відповідно прямої і розсіяної радіації на верхній межі посіву, кал/см<sup>2</sup>·д.

Інтенсивність ФАР при цьому визначається із виразу

$$J_o^j = \sum J_o^j / 60\tau_d \quad (1.19)$$

При проникненні ФАР всередину рослинного покриву проходить зменшення її інтенсивності в залежності від висоти рослинного покриву, кутової орієнтації листа, розподілу гущини рослинного покриву щодо вертикалі, товщини і форми листа та ін. Найпростішим і досить розповсюдженим виразом, що описує послаблення ФАР в рослинному покриві, є формула Будаговського, згідно з якою середня інтенсивність ФАР в посіві багато в чому визначається розвитком листа рослин, тобто відносною площею листа (листяковим індексом) [15]

$$J^j = J_o^j / (1 + cL^j), \quad (1.20)$$

де  $J^j$  – інтенсивність ФАР в посіві, кал/см<sup>2</sup>·хв;

$L$  – відносна площа листа, м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>;

$c$  – емпіричний коефіцієнт, що дорівнює 0,65, безрозмірний.

### 1.2.2 Тепловий баланс рослинного покриву

Сонячна радіація і випромінювання атмосфери після поглинання рослинами і подальшого променистого обміну надалі витрачаються на фотосинтез, випарування рослинами і ґрунтом, нагрівання рослин і т.ін. У загальному вигляді рівняння теплового балансу записано

$$R = P + LE + B + \Delta, \quad (1.21)$$

де  $R$  – радіаційний баланс;  $P$  – турбулентний теплообмін поміж підстильною поверхнею і атмосферою;  $LE$  – витрати тепла на випарування;  $B$  – потік тепла в ґрунт;  $\Delta$  – тепло, що витрачається або виділяється при біохімічних процесах.

Окремо рівняння теплового балансу рослин і ґрунту мають вигляд

$$R(l) = P(l) + LE(l) + B(l) + \Delta; \quad (1.22)$$

$$R(\Pi) = P(\Pi) + LE(\Pi) + B(\Pi) + \Delta. \quad (1.23)$$

При біохімічних процесах в природних умовах витрати енергії не перевищують 2% від величини радіаційного балансу, тому величина  $\Delta$  найчастіше не береться до уваги.

Знання закономірних зв'язків процесів теплообміну в середовищі мешкання рослин і коріння дозволить з'ясувати особливості мікрокліматичного режиму полів з різними сільськогосподарськими культурами, а також дасть можливість враховувати ці особливості при розробці методів прогнозів і регулювання середовища мешкання рослин.

Добовий хід радіаційного балансу  $R(l)$  і потоку тепла в ґрунт  $B(l)$  майже завжди визначається потоком сумарної радіації і умовами хмарності; в залежності від зміни  $R(l)$  та  $B(l)$  змінюються і витрати тепла на випарування  $LE(l)$  та  $P(l)$ . Крім того,  $LE(l)$  змінюється в залежності від розвитку РП: чим більш розвинуте листя, тим більше  $LE(l)$ .

За характеристику структури теплового балансу РП використовується співвідношення між окремими складовими:  $R$ ;  $LE$ ;  $P$ ;  $P/R$ ;  $P/LE$  (відношення Боуена). Величина  $P/LE$  тим більше, чим менше вологи в ґрунті і чим більше надходження сонячної радіації при незмінних вологозапасах. Якщо вологозапаси становлять 80% НВ і є добре розвинений РП, то спостерігаються близькі до 0 і навіть негативні значення  $P/LE$ .

Таке явище називають «оазисним» ефектом і воно виникає на добре зволоженому полі за високих температур, збільшення дефіциту насичення повітря вологою і швидкості вітру. Для визначення складових теплового балансу існують методи інструментальні і розрахункові.

Турбулентний потік теплоти  $P(l)$  і витрати тепла на випарування  $LE(l)$  визначаються за допомогою теплобалансових спостережень. Найчастіше для визначення  $P(l)$  та  $LE(l)$  використовуються формули

$$P(l) = 1,35k_1 + \Delta t; \quad (1.24)$$

$$LE(l) = 2,1k_1 \cdot \Delta l, \quad (1.25)$$

де  $\Delta t$  і  $\Delta l$  різниці температури повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ) і пружності водяної пари (мб) на рівнях 0,5 та 2,0 м;  $k_1$  – коефіцієнт турбулентності на висоті 1 м,  $\text{m}^2/\text{c}$ , визначається при зміні швидкості вітру тільки на  $h = 1\text{ м}$  рівнянням

$$k_1 = 0,16U_1 \cdot D[1 + 7,5(\Delta t / \Delta U^2)], \quad (1.26)$$

де  $U_1$  – швидкість вітру на висоті 1 м;  $D = 1 / \ln(t / Z_0)$ .

При зміні швидкості вітру на висотах 0,5 і 2,0,  $k_1$  визначають з виразу



$$k_1 = 0,104 \Delta U \cdot m, \quad (1.27)$$

де  $\Delta U$  – різниця між швидкостями вітру на висоті 2,0 і 0,5 м;

$m$  – множник, який залежить від швидкості вітру і різниці температур повітря на рівнях 0,5 та 2,0 м.

Для визначення  $Z_0$  та  $D$  для різних поверхонь використовують дані табл.1.1.  $\Delta t$ ,  $\Delta l$  та  $\Delta U$  визначаються як різниця між вимірами на висоті 0,5 та 2 м.

Найбільш складним є розрахунок теплообміну в ґрунті.

Теплообмін в ґрунті здійснюється з допомогою теплопровідності вздовж елемента твердого скелету ґрунту, передачею тепла завдяки теплопровідності від однієї частини ґрунту до іншої, молекулярної теплопровідності, теплопередачі на межі твердих частинок і середовища, випромінюванням від частинки до частинки та ін. [6].

Таблиця 1.1 – Параметр  $Z_0$  і коефіцієнт  $D$  для різних діючих поверхонь

Діюча поверхня	Висота нерівностей, см	$Z_0$ , м	$D$ , безрозм.
Гола поверхня твердого ґрунту	–	1	0,22
Чорний пар	6...10	2	0,26
Трава	6	1	0,22
Трава	6-15	2	0,26
Трава	16-25	3	0,29
Трава	26-35	4	0,31

Потік тепла  $B(l)$  в ґрунт через одиницю поперечного перерізу його в одиницю часу описується рівнянням:

$$B(l) = -\lambda \frac{dT_n}{dZ}, \quad (1.28)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м<sup>0</sup>С.

$$\lambda = K_T \cdot C'; \quad (1.29)$$

$$K_T = X[m_i(W_1 - W_n)^2 + 10^{-3}m_2\rho_n + m_3] \cdot 10^{-7}; \quad (1.30)$$

$$C' = (C_n \cdot C_{вод} \cdot 0,01W) c_n, \quad (1.31)$$

де  $K_T$  – коефіцієнт температуропровідності,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;

$C'$  – об'ємна теплоємність ґрунту,  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$ ;

$\rho_n$  – щільність ґрунту,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;

$C_n$  – питома теплоємність ґрунту,  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$ ;

$C_{\text{вод}}$  – питома теплоємність води становить  $4,19 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$ ;

$m_i$  – коефіцієнт, що залежить від типу ґрунтів ( $i=1,2,3,4$ );

$W$  – вологість ґрунту, %.

Значення усіх теплофізичних характеристик  $\lambda$ ,  $K_T$ ,  $C'$  залежать від властивостей і стану ґрунтів – вологості, щільності, механічного складу, які змінюються з глибиною.

Із збільшенням вологості ґрунту  $\lambda$  і  $C'$  збільшуються, а із збільшенням  $\rho_n$  – зменшуються.

Коефіцієнт температуропровідності  $K_T$  також залежить від вологості ґрунту та вмісту повітря в ньому. При малих значеннях вологості  $K_T$  зростає, із збільшенням вологості зростання  $K_T$  уповільнюється [39].

Питома теплоємність ґрунту  $C_n$  залежить від механічного складу ґрунту і для різних ґрунтів значення  $C_n$  наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Питома теплоємність абсолютно сухого ґрунту при позитивних температурах (за А.Ф. Чудновським та Д.А. Куртєнер)

Тип ґрунту	Теплоємність, $C_n$ , $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$
Звичайний чорнозем	1,05
Супісок	0,84
Пісок	0,75
Суглинок	0,96
Торф	2,18
Каштановий	0,84

Значення емпіричних коефіцієнтів у формулі  $\{i=1,2,3,4\}$  представлені в табл. 1.3.

### 1.2.3 Температура повітря в рослинному покриві.

Температура повітря в приземному шарі перебуває під значним впливом рослинного покриву. Вплив рослин на термічний режим приземного шару повітря полягає в тому, що нерівномірне затінення ґрунту створює неоднорідність радіаційного і термічного режиму під посівами. Транспірація рослин, її мінливість з часом значною мірою визначає температуру повітря у міжлистовому просторі. Крім того, процес

формування термічного режиму в РП дуже ускладнюється інерційністю теплообміну. [6]

Таблиця 1.3 – Емпіричні коефіцієнти для різних типів ґрунту  
( за даними Є.О. Іконникова )

Тип ґрунту	Значення $m_i$ при $i$			
	1	2	3	4
Звичайний чорнозем	-0,013	3,1	1,21	20
Темно-каштановий	-0,017	2,2	1,90	18
Сірозем	-0,0062	2,7	-0,20	18
Південний чорнозем	-0,0104	2,4	0,68	20
Дерново-глеюватий, підзолистий	-0,020	3,1	1,40	20

Для характеристики температурного режиму приземного шару повітря використовується поняття “стрибок температури ґрунт-повітря”, запропонований М.І. Будико [15].

$$\Delta T_B = T_n - T_{2,0}, \quad (1.32)$$

де  $T_n$ ;  $T_{2,0}$  – температура поверхні ґрунту і повітря на висоті 2,0 відповідно.

Для оцінки впливу РП застосовується різниця стрибків температури ґрунт - повітря на метеорологічному майданчику і в посіві, запропонована М.І. Гойса, Р.Н. Олійник, А.Р. Рогаченко і ін. [15],

$$\Delta T_B = \Delta T_{BM} - \Delta T_{BP}, \quad (1.33)$$

де  $\Delta T_{BM}$  і  $\Delta T_{BP}$  – стрибки температури повітря-ґрунт відповідно на метеомайданчику ( $\Delta T_{BM} = T_{nm} - T_{2,0m}$ ) і в посіві ( $\Delta T_{BP} = T_{np} - T_{2,0p}$ );

$T_{nm}$  і  $T_{np}$  – температура голого ґрунту на метеорологічному майданчику і в посіві відповідно;  $T_{2,0n}$  і  $T_{2,0m}$  – температура повітря на висоті 2,0м над поверхнею ґрунту і на метеорологічному майданчику відповідно.

Величина стрибка температури повітря-ґрунт залежить від сонячної радіації, фітомаси рослин і вологості ґрунту. При збільшенні вологості з 20 мм до 40 мм і надземної фітомаси стрибок температури повітря-ґрунт зменшується.

У погано розвинених посівах значення стрибків бувають від -1,2 до 4,7 °С; в добре розвинених посівах – від -2,2 до 23,2 °С.

Крім того, є особливості у формуванні термічного режиму різних сільськогосподарських культур.

На теплообмін у РП значно впливає теплообмін між листям і повітрям у міжлистовому просторі.

Температура листя зумовлена сонячною радіацією, тепловим випромінюванням листя, його конвективним обміном з навколишнім середовищем, що залежить від швидкості вітру, інтенсивності транспірації, яка визначається відносною вологістю повітря, водним потенціалом ґрунту.

У ґрунті природного складу першопричиною процесу теплообміну є вертикальний температурний перепад, що змінює знак від дня до ночі. Завдяки цьому виникає процес теплопровідності. Теплообмін у ґрунті здійснюється завдяки: теплопровідності вздовж окремої частки ґрунту, передачі тепла від однієї частки до іншої, молекулярній теплопровідності у середовищі поміж частками, теплопередачі на межі твердих часток і середовища, конвекції газів і вологи.

Денне нагрівання і нічне охолодження ґрунту спричиняють добові коливання його температури. Максимум температури на поверхні ґрунту спостерігається близько 13-ої години (за сонячним часом). Мінімум температури ґрунту спостерігається перед сходом Сонця. Різниця між максимумом і мінімумом у добовому або річному ході називається *амплітудою ходу температури*.

На величину добової амплітуди температури поверхні ґрунту впливають: пора року, географічна широта, рельєф, рослинний і сніговий покрив, колір ґрунту, стан поверхні, вологість ґрунту, хмарність.

Хід температури впродовж року визначається різною кількістю сонячної радіації – найменша у січні, найбільша – в липні або серпні. Амплітуда ходу температури впродовж року збільшується із збільшенням широти (у добовому ході цього не спостерігається). В районі екватора вона складає 2 – 3 °С, у полярних широтах (Якутія) 70 °С.

Нагрівання та охолодження ґрунту залежать здебільшого від його теплофізичних характеристик: теплоємності та теплопровідності. Теплоємність – це кількість тепла, необхідна для підвищення температури ґрунту на 1 °С. Теплоємність буває питома та об'ємна. *Питома теплоємність* ( $C_{пит}$ ) – це та кількість тепла, що необхідна для нагрівання 1 кг ґрунту на 1 °С. *Об'ємна теплоємність* ( $C_{об}$ ) – кількість тепла, необхідна для нагрівання 1 м<sup>3</sup> ґрунту на 1 °С. Одиниця вимірювання питомої теплоємності – Дж/(кг·К), об'ємної – Дж/(м<sup>3</sup>·К).

Теплоємність різних ґрунтів залежить від складу твердої частини ґрунту і кількості повітря і води, що знаходяться у порах. Теплоємність води становить 4,2·10<sup>3</sup> кДж/(м<sup>3</sup>·К), а теплоємність повітря – 1,2 кДж/(м<sup>3</sup>·К). Таким чином видно, що за однакової кількості надходження тепла сухі ґрунти нагріваються і охолоджуються більше і швидше, ніж вологі.

Здатність ґрунту передавати тепло від шару до шару називається теплопровідністю. Мірою теплопровідності ґрунтів є коефіцієнт теплопровідності ( $\lambda$ ). Коефіцієнт теплопровідності – це кількість тепла в Дж, що проходить за 1 секунду крізь переріз основи стовпчика ґрунту діаметром  $1 \text{ м}^2$  і висотою 1 м. Одиниця виміру  $\lambda$  у системі СИ –  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Коефіцієнт теплопровідності залежить від пористості, вологості, температури та щільності ґрунту. Теплопровідність збільшується при збільшенні вологості і зниженні температури. Із зменшенням щільності ґрунту теплоємність і теплопровідність сухого ґрунту зменшуються. Деякі теплофізичні характеристики наводяться в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Теплофізичні характеристики і щільність основних компонентів ґрунтів (за де Фрізом)

Складові частини ґрунту	Питома теплоємність, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	Щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$	Об'ємна теплоємність, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	Коефіцієнт	
				Теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$
Пісок	0.74	$2.65 \cdot 10^3$	$2.0 \cdot 10^3$	8.80	$4.40 \cdot 10^{-6}$
Більшість ґрунтових мінералів	0.80	$2.65 \cdot 10^3$	$2.1 \cdot 10^3$	2.90	$1.40 \cdot 10^{-6}$
Органічна речовина	2.50	$1.10 \cdot 10^3$	$2.7 \cdot 10^3$	0.25	$0.09 \cdot 10^{-6}$
Вода	4.20	$1.00 \cdot 10^3$	$4.2 \cdot 10^3$	0.60	$0.14 \cdot 10^{-6}$
Повітря ( $t = 20^\circ\text{C}$ )	1.00	1.20	1.20	0.03	$21 \cdot 10^{-6}$

Для оцінки швидкості вирівнювання температури різних шарів ґрунту використовується його теплопровідність. Мірою температуропровідності ґрунту є коефіцієнт температуропровідності, що характеризує швидкість розповсюдження тепла у ґрунті і визначається як відношення коефіцієнта теплопровідності ( $\alpha$ ) до об'ємної теплоємності ( $C_{об}$ )

$$K_T = \alpha / C_{об}. \quad (1.34)$$

Величина коефіцієнта температуропровідності ґрунту залежить здебільшого від вмісту в ньому води і повітря, а також щільності.

Тепло в ґрунті розповсюджується за законами загальної теорії молекулярної теплопровідності, які мають назву законів Фур'є:

- ✓ незалежно від типу ґрунту період коливань температури з глибиною не змінюється;
- ✓ зростання глибини в арифметичній прогресії викликає зменшення амплітуди в геометричній прогресії. Це видно з добового ходу температури ґрунту на різних глибинах (рис.1.2).
- ✓ максимальні і мінімальні температури на глибинах настають пізніше.

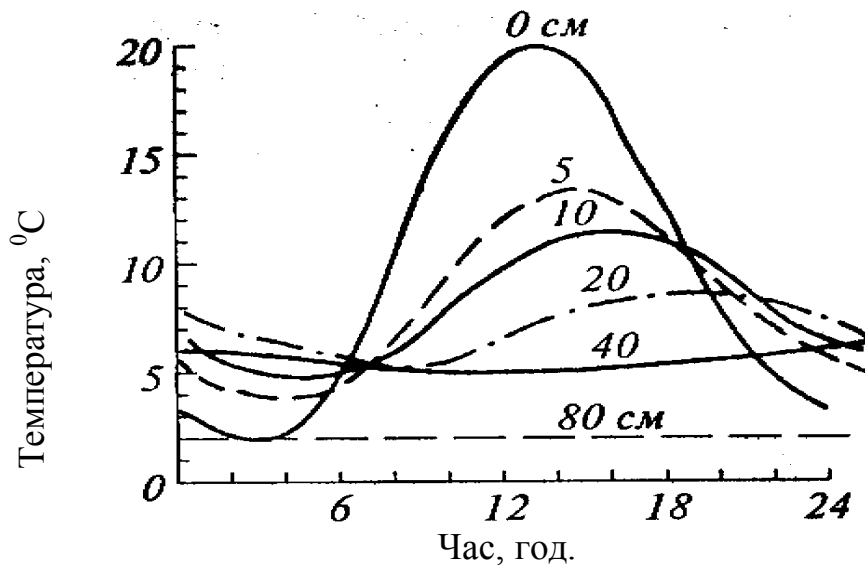


Рис. 1.2 – Добовий хід температури ґрунту на різних глибинах

Як видно з рис. 1.2, на глибині 70 – 100 см незалежно від типу ґрунту амплітуда температури практично дорівнює 0. Річні коливання температури розповсюджуються з глибиною за тими ж законами. Шар ґрунту, в якому спостерігається добовий і річний хід температури, називається **активним або діяльним шаром**.

З особливостями добового та річного ходу температури пов'язаний розподіл температури ґрунту по вертикалі в різний час доби і пору року. Розподіл температури впродовж доби, декади, місяця, року розглядають за допомогою графіків (рис. 1.3), які дозволяють визначити зміну температури ґрунту в залежності від часу і глибини. Для побудови графіка на вертикальній осі відкладається глибина, на горизонтальній – час. На графік наносять середню температуру за певний відрізок часу. Потім точки з однаковими значеннями температури з'єднують плавними лініями – **термоізоплетами**.

Такі графіки використовують для визначення критичних температур вимерзання озимих культур, а також при розрахунках меліорацій, у комунальному господарстві та при будівництві шляхів.

На температуру ґрунту суттєво впливає рельєф. Навесні і восени південні схили вдень тепліші, а північні холодніші, ніж відкрите рівне місце. Це зумовлено розподілом сумарної сонячної радіації.

На температуру ґрунту впливає наявність рослинного покриву. Дія рослинного покриву на термічний режим ґрунту і приземного шару повітря дуже різноманітна.

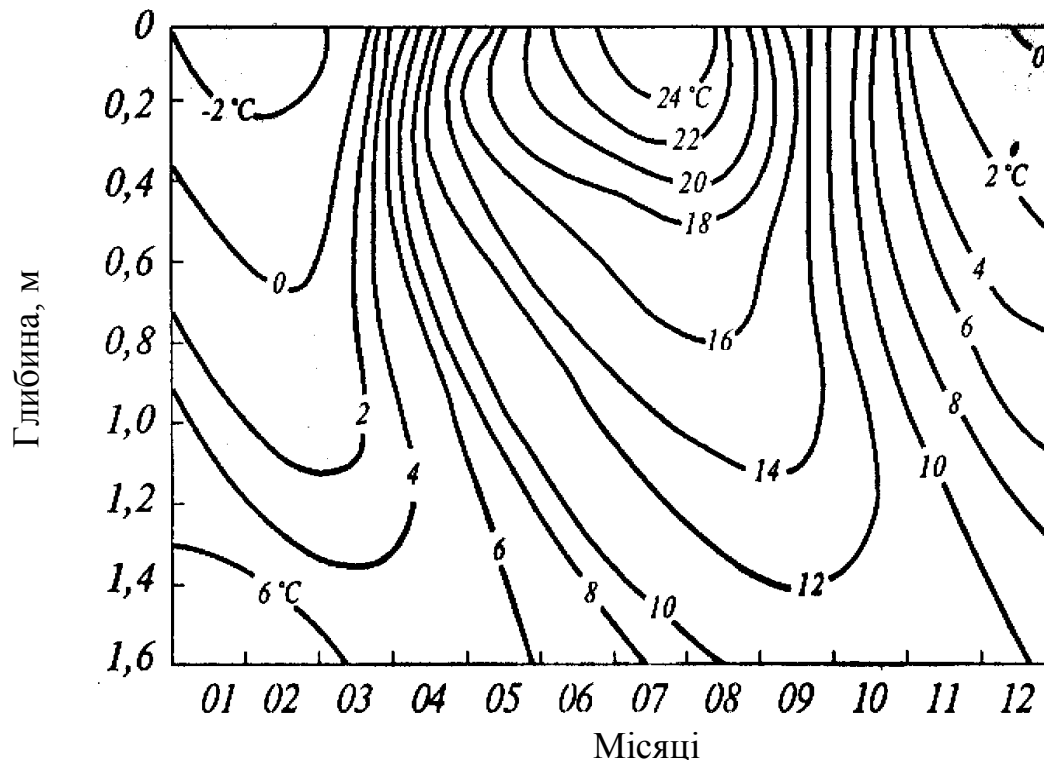


Рис. 1.3 – Термоізоплети річного ходу температури ґрунту

Нерівномірне затінення ґрунту спричиняє неоднорідність термічного і радіаційного поля під посівами. Вдень поверхня під рослинами нагрівається менше і менше охолоджується вночі за рахунок зменшення випромінювання.

Транспірація рослин та її мінливість з часом в значній мірі визначає розподіл температури у міжлистовому просторі і також зменшує температуру ґрунту за рахунок витрат тепла на випаровування. В холодну пору року на тепловий режим ґрунту дуже впливає наявність снігового покриву. Сніг завдяки малій теплопровідності перешкоджає сильному охолодженню і промерзанню ґрунту. За даними О.М.Шульгіна глибина промерзання ґрунту різко зменшується із збільшенням товщини снігу.

Крім того, зменшується середня із абсолютних мінімальних температур на глибині 3 см.

Температура ґрунту має велике значення для перезимівлі озимих культур. Особливо велике значення має температура ґрунту на глибині 3 см. На цій глибині здебільшого розташовується вузол кущіння озимих культур – головний орган, у якому накопичуються речовини, необхідні рослинам у суворих умовах зими. О.М. Шульгіним встановлено, що головними показниками умов перезимівлі озимини є температура ґрунту на глибині 3 см, висота снігу, глибина промерзання ґрунту. Ці три чинники обмежують просування озимих культур у більш північні райони у ЄЧ СНД і в райони Сибіру. Якщо у озимих культур або багаторічних трав пошкоджується вузол кущіння і коренева шийка, то рослини гинуть і навесні їх життєдіяльність не відновлюється.

Навесні температура ґрунту також є важливим фактором в житті рослин. Після сівби проростання насіння, розвиток коріння, засвоєння ним продуктів живлення, життєдіяльність мікрофлори ґрунту залежать від температури ґрунту. З підвищенням температури та за умов доброго зволоження ґрунту всі процеси прискорюються. Зменшення температури ґрунту навесні призводить до загнивання і пошкодження насіння, що, в свою чергу, спричиняє зрідження посівів.

Проростання насіння зернових культур відбувається при температурі 0...5 °С; соняшника, картоплі – 5...8 °С; кукурудзи, капусти – 8...10 °С; рису 10...12 °С; томатів, баклажанів, перцю – 12...15 °С; бавовни, гарбузів – 13...15 °С; динь, огірків – 15...18 °С.

При підвищенні температури ґрунту проростання насіння прискорюється, але прискорення спостерігається тільки до оптимальних значень температури. Якщо сівба культур проводиться рано у холодний ґрунт, то поява сходів затримується, але прискорюється розвиток коріння. При пізній сівбі – навпаки. Цій закономірності не підлягають озимі культури, бо вони розвиваються восени на фоні безперервного зниження температури повітря і ґрунту.

Температура ґрунту відіграє важливу роль у біологічних та хімічних процесах, що визначають напрям і швидкість перетворення питомих речовин у ґрунті. Встановлено, що при температурі ґрунту 5 °С надходження азоту і фосфору в рослини в 3 рази менше, ніж при температурі 20 °С. Перетворенню елементів живлення на доступну для рослин форму сприяють мікроорганізми, активність яких збільшується при підвищенні температури [12].

З температурою тісно пов'язане розповсюдження шкідників і хвороб. У теплолюбних культур в холодні весни захворювання і пошкодження проростків збільшується.



В холодному ґрунті ( $t \leq 5^{\circ}\text{C}$ ) збільшується кількість личинок проволочника. В теплому ґрунті ( $t = 10 - 12^{\circ}\text{C}$ ) збільшується кількість бурякового довгоносика, капустяної мухи, озимої совки та ін.

Температура ґрунту, як і температура повітря, має добовий і річний хід.

З метою покращання температурного режиму ґрунтів у сільськогосподарському виробництві застосовують цілу низку заходів. У північних районах, де ґрунти холодні, заходи спрямовані на підвищення температури ґрунту. В південних районах, де спостерігається надмірне надходження тепла при нестачі вологи, застосовують заходи для зменшення температури поверхні ґрунту і орного шару (0 – 20 см).

Заходи активного впливу на температуру ґрунту поділяють на три групи:

- агротехнічні;
- агроеліоративні
- агрометеорологічні.

До **агротехнічних** заходів належать: глибока оранка, утворення гребенів, прикатування і інші. Цим зменшується альbedo ґрунту і тим самим змінюється його температурний режим. Температура ґрунту підвищується на 3 – 5  $^{\circ}\text{C}$ .

До **агроеліоративних** заходів належать: мульчування ґрунту, снігова меліорація, зрошення та осушування. *Мульчування* – це покриття ґрунту різними матеріалами (плівками, торфом, соломою та ін.). В залежності від типу покриття температура ґрунту може змінюватись від  $\pm 4$  до  $\pm 7^{\circ}\text{C}$ .

Снігова меліорація підвищує температуру ґрунту внаслідок збільшення товщини снігу за рахунок снігозатримання.

Зрошення та осушування полів змінює тепловий режим ґрунту за рахунок зміни витрат тепла на випаровування. Зрошення збільшує теплоємність і теплопровідність ґрунтів. Осушення – навпаки. На зрошуваних полях температура поверхні ґрунту зменшується на 15 – 30  $^{\circ}\text{C}$ , на осушених полях – підвищується на 4 – 8  $^{\circ}\text{C}$ .

До **агрометеорологічних** заходів відноситься створення полезахисних лісосмуг, утворення димових завіс та ін.

Лісосмуги впливають на швидкість вітру, на температуру повітря і ґрунту, на вологість повітря і ґрунту. В зимову пору року лісосмуги сприяють накопиченню снігу.

Димові завіси застосовують при загрозах весняних або осінніх заморозків для захисту плодових дерев, сходів різних культур та ін. Димові завіси зменшують ефективне випромінювання і зменшують таким чином інтенсивність заморозків.

Вміле і вдале регулювання теплового режиму ґрунту сприяє відновленню родючості ґрунтів і значно підвищує врожайність сільськогосподарських культур [12,15].

### 1.3 Водний режим системи «ґрунт – рослина – атмосфера».

Вода є одним із найважливіших факторів життя рослин. Вона бере участь у процесах фотосинтезу, забезпечення терморегуляції рослинного організму, переносі поживних речовин. Вирішення проблеми волого забезпечення рослин – задача досить складна, оскільки у процесі живлення рослин водою разом з фізичними та фізіологічними аспектами необхідно враховувати також типи ґрунтів. Від типів ґрунтів залежить взаємодія води з ґрунтом, пересування води в ньому, а також засвоєння води рослинами. У ґрунтах, різних за механічним складом, поведінка води, її властивості змінюються.

Для оцінки водопостачання рослин, які вирощуються на різних ґрунтах, використовується поняття продуктивна волога, тобто волога, яка може бути спожита рослинами. Кількість продуктивної вологи визначається як залишок між загальною вологою і непродуктивною вологою, тобто вологою, яка не може бути спожита рослинами.

Для того, щоб визначити вплив вологи на зростання рослин та формування їх врожаю, необхідно спостерігати вміст вологи у ґрунті впродовж всього періоду вегетації рослин. Спостереження проводяться на всій глибині кореневого шару.

Найбільш поширеним способом визначення вмісту вологи в ґрунті є спосіб висушування зразків. Існують і інші способи, але саме спосіб висушування зразків є еталоном [17].

Запаси продуктивної вологи у ґрунті – величина, яка постійно змінюється. Причин змін багато. Це і надходження води в ґрунт із різних джерел, найсуттєвішим із них є опади, це витрати води за рахунок проникнення у нижні шари ґрунту, та за рахунок випарування і т. ін.

***Сукупність усіх величин надходження вологи у ґрунт та витрат називається водним балансом.***

Щодо потреб сільськогосподарського виробництва, то залишок водного балансу визначається у мм продуктивної вологи. Водний баланс складається із приходної частини, яка вміщує опади ( $\theta_{оп}$ ), а при зрошенні ще й норму поливу ( $\theta_{зр}$ ), надходження із ґрунтових вод ( $\theta_{зр}$ ) і за рахунок конденсації водяної пари ( $\theta_{к}$ ), а також надходження води внаслідок переміщення із сусідніх шарів ґрунту ( $\theta_{пп}$ ) і за рахунок просочування ( $\theta_{сп}$ ) та витратної частини: витрат води на випарування ( $\theta_{в}$ ), поверхневий стік

( $\theta_{пс}$ ), транспірацію ( $\theta_{тр}$ ) та переміщення всередині ґрунту ( $\theta_{вс}$ ), а також інфільтрацію ( $\theta_{ін}$ ). Таким чином, якщо початковий запас води у ґрунті –  $W_{п}$ , й кінцевий –  $W_{к}$ , то рівняння водного балансу має вигляд

$$W_{к} - W_{п} = [(\theta_{оп} + \theta_{зр}) + \theta_{зр} + \theta_{пн} + \theta_{вп} + \theta_{к}] - [(\theta_{в} + \theta_{зр}) + \theta_{пс} + \theta_{вс} + \theta_{ін}]. \quad (1.35)$$

Рівняння можна скоротити за відсутності будь-якої складової. Крім того, в залежності від пори року складові рівняння водного балансу також змінюються. С.О.Веріго та Л.О.Разумовою [17] встановлено, що формування запасів продуктивної вологи у холодну та теплу пори року відбуваються за різних обставин та з різних причин. Взимку поповнення запасів вологи відбувається за рахунок опадів, талих вод та пересування вологи всередині ґрунту під впливом кристалізації. В теплу пору року динаміка запасів продуктивної вологи в першу чергу залежить від кількості та розподілу опадів у часі, від температурного режиму, стану поверхні ґрунту, міри розвитку рослин та їх виду, глибини залягання ґрунтових вод. Швидкість витрат води влітку впродовж вегетаційного періоду рослин дуже змінюється. Величина змін залежить від ґрунтово-кліматичної зони, рельєфу, виду сільськогосподарських культур та стану їх розвитку. В кожній ґрунтово-кліматичній зоні тип річної зміни запасів продуктивної вологи свій. Визначено 5 типів річної зміни запасів продуктивної вологи (рис.1.4).

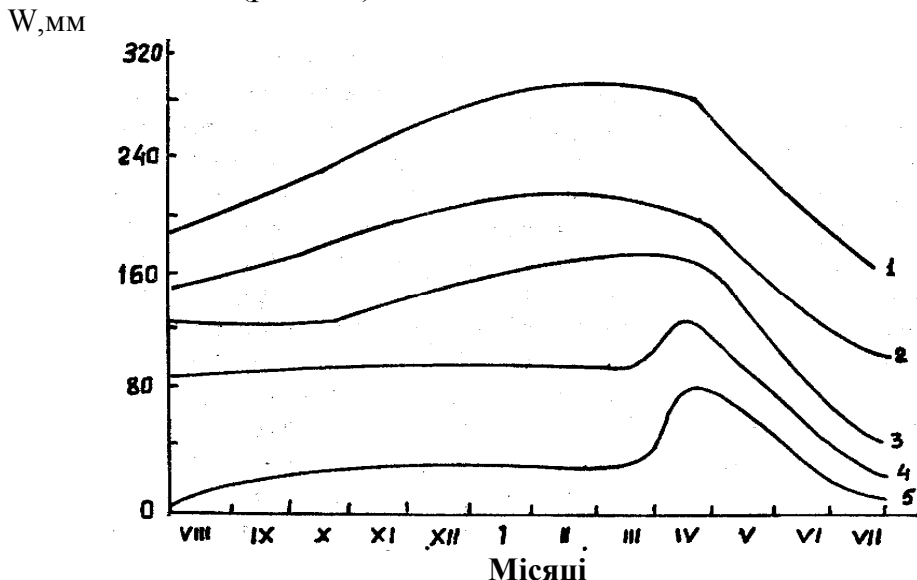


Рис. 1.4 - Типи річного ходу запасів продуктивної вологи (мм) у метровому шарі ґрунту.( за С. О. Веріго та Л.О. Разумовою).

1-обводнення; 2 – капілярного зволоження; 3 – повного весняного промочування; 4 – слабого весняного промочування (засушливі райони); 5 – слабого весняного промочування ( сильно засушливі райони).

### 1.3.1 Пересування води в ґрунті. Визначення водного потенціалу.

Стан, розвиток і формування врожаю сільськогосподарських культур значною мірою визначаються кількістю води в ґрунті.

ґрунт слід розглядати як ефективно акумулюючу речовину. Тривалий час ґрунт здатний утримувати воду, яка використовується рослинами.

Фізичні властивості ґрунту, в тому числі і здатність до акумуляції води, значною мірою залежать від того, яка частка загального об'єму ґрунту зайнята твердою речовиною, а яка порами. З точки зору росту і розвитку рослин дуже важливо знати, яку частку порового простору займає вода і яку – повітря. Співвідношення між об'ємами і масами твердої, рідкої і газової фаз ґрунту визначають фізичні умови прояву родючості ґрунту. Ідеальні умови створюються, коли тверда фаза складає 50 %, а рідка і газова – по 25 %. Більшу частину рідкої фази складає вода.

Відношення маси рідкої фази до маси твердої фази ґрунту характеризує масову вологість ґрунту.

Поведінка води в ґрунті визначається не тільки розмірами і формою ґрунтових пор, але і властивостями самої води, бо молекули води представляють собою диполі з негативним зарядом на одному кінці і позитивним – на іншому і можуть притягуватись іонами внаслідок взаємного притягання електричних іонів до полюсів гідролів.

Вода в ґрунті знаходиться у роздрібненому стані, вона вкраплена в порах різних розмірів та форм і містить в собі цілий ряд позитивних і негативних іонів, а це зумовлює неоднорідність фізичних та хімічних властивостей ґрунтової води.

Вода в порах постійно пересувається, це переміщення зумовлює такі явища:

- 1) ґрунти, оброблені одним і тим же засобом, мають різну вологість;
- 2) на різних ґрунтах рослини часто по-різному реагують на однакову вологість;
- 3) якщо ґрунти з однаковою вологістю, але з різним механічним складом, знаходяться у контакті, то вода перетікає з одного ґрунту в інший, при цьому завжди із ґрунту більш легкого механічного складу в ґрунт з більш важким механічним складом. Переміщення зумовлюється не тільки кількістю води, але й її енергетичним станом.

Для характеристики енергетичного стану води використовують хімічний потенціал  $\mu$ . Потенціал води в ґрунті – це залишок між вільними

енергіями води в ґрунті і води в стандартному стані (в резервуарі з чистою водою при стандартному тиску  $P_0$ , температурі  $T_0$  і розташованому на висоті  $h_0$ ).

**Сумарний потенціал ґрунтової вологи  $\Psi_t$  – це кількість роботи на одиницю маси чистої води, яку необхідно виконати для переносу одиниці води від її стану в ґрунті до еталонного стану.**

Значення сумарного потенціалу визначається:

- гравітаційним полем;
- впливом розчинних солей;
- впливом твердої фази;
- тиском газоподібної фази води.

Сумарний потенціал ґрунтової вологи складається з:

- 1) гравітаційного ( $\Psi_p$ );
- 2) осмотичного ( $\Psi_{осм}$ );
- 3) потенціалу тиску або тензометричного потенціалу ( $\Psi_g$ ).

Повний потенціал

$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_g + \Psi_{осм}. \quad (1.36)$$

Пересування вологи в ґрунті підлягає закону переносу маси і енергії, згідно з яким густина потоку  $q$  (тобто об'єм субстанції  $V$ , що переноситься через одиницю перерізу площі  $A$  в одиницю часу) пропорційна градієнту рушійних сил:

$$\frac{V}{A_t} = q = -K \text{grad}\Phi, \quad (1.37)$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від властивостей провідного середовища і провідної субстанції;

$\text{grad}\Phi$  – градієнт гідравлічного потенціалу, тобто та рушійна сила, під впливом якої і рухається вода.

Густина потоку  $q$  має розмірність швидкості ( $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} = \text{м}/\text{с}$ )

$$q = \frac{M^3}{M^2 \cdot C} = \frac{M}{C}. \quad (1.38)$$

Для розрахунку густини потоку (або просто потоку) вологи крізь межу шару ґрунту використовується диференціальне рівняння

$$q = -k \frac{d\Psi_s}{dZ} + k \quad (1.39)$$

Кінцевий вигляд цього рівняння:

$$q_i^j = k_i^j \cdot k_{i+1}^j \left[ \frac{\Psi_{S_{i+1}}^j - \Psi_{S_i}^j}{h_S} + 1 \right], \quad (1.40)$$

де  $q_i^j$  – градієнт ґрунтової вологи;

$\Psi_{S_i}$  – водний потенціал;

$k$  – вологопровідність ґрунту;

$j$  – номер доби розрахункового періоду;

$i$  – шар ґрунту;

$h$  – товщина шару.

Для визначення потенціалу ґрунтової вологи в діапазоні від вологості в'янення (ВВ) до повної вологомісткості (ПВ) використовується емпірична залежність [21]

$$\Psi_{S_i}^j = \Psi_o \exp \left[ -7,76 \frac{W_i^j - W_i^{BB}}{W_i^{ПВ} - W_i^{BB}} \right], \quad (1.41)$$

де  $\Psi_o$  – максимальний потенціал ґрунтової вологи;

$W_i^{BB}$  – вологість в'янення  $i$ -го шару ґрунту;

$W_i^{ПВ}$  – повна вологомісткість (%);

$W_i^j$  – фактична вологість ґрунту (%).

Для розрахунку вологопровідності ґрунту з врахуванням впливу механічного складу і структури ґрунту на його проникність використовується формула:

$$k_i^j = \gamma \left[ \frac{W_i^j - W_i^{BB}}{W_i^{ПВ} - W_i^{BB}} \right]^F; \quad (1.42)$$

$$\gamma = \frac{k_o^j [0,01W_i^{PB}]^3}{[W_i^{BB}]^2 \cdot [1 - 0,01W_i^{PB}]^2}, \quad (1.43)$$

де  $\gamma$  – емпіричний коефіцієнт, що залежить від типу ґрунту;  
 0,01 – постійний коефіцієнт.

### 1.3.2 Розрахунок залежності ґрунтової вологи від основних метеорологічних факторів і міри зволоження ґрунту

*Ґрунтова волога* – один з найголовніших факторів, що визначає врожайність сільськогосподарських культур. Тому так необхідно враховувати особливості водного режиму сільськогосподарських угідь і закономірностей його зміни в залежності від різних показників. Запаси продуктивної вологи на сільськогосподарських полях і в районах з глибоким заляганням ґрунтової води формуються внаслідок взаємодії ґрунту, рослин і метеорологічних умов. В зоні високого залягання ґрунтових вод, крім того, впливає їх рівень. В цілому динаміка запасів ґрунтової вологи у вегетаційний період характеризується поступовим зменшенням запасів. Витрати води в літній період не компенсуються випадальними опадами і тільки в період дозрівання культур спостерігається збільшення запасів вологи [14].

Проте впродовж вегетації сільськогосподарських культур на витрати запасів вологи впливають не тільки погодні умови, але і міра заглиблення і характер розвитку коріння, а також надземної маси рослин. Це призводить до того, що швидкість витрат ґрунтової вологи у вегетаційний період рослин дуже змінюється. В районах, де ґрунтові води знаходяться глибоко і капілярний підтік відсутній, найбільша кількість вологи витрачається через транспірацію із шару ґрунту, де розташоване коріння. Витрати сягають найбільших значень у репродуктивний період. Запаси продуктивної вологи вимірюються на мережі агрометеорологічних станцій інструментальним методом [17].

Інструментальний метод дуже трудомісткий і тому С.О.Веріго [14] запропонувала кількісну закономірність зміни ( $\Delta W$ ) динаміки запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами в залежності від метеорологічних факторів

$$\Delta W = aW_i + br - ct + d, \quad (1.44)$$

де  $W_1$  – початкові запаси продуктивної вологи, мм ;  $t$  – температура повітря за декаду,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $r$  – сума опадів за декаду, мм.

Числові коефіцієнти  $a, b, c, d$  залежать від виду культур, фази їх розвитку та типу ґрунтів.

На основі цієї закономірності С.О.Веріго запропонувала метод розрахунку запасів продуктивної вологи під зерновими культурами. У подальшому на основі закономірності С.О. Веріго були розроблені рівняння і графічні залежності під іншими сільськогосподарськими культурами для різних міжфазних періодів та різних типів ґрунтів і визначені коефіцієнти  $a, b, c, d$  рівняння (1.44) [14]. Для прикладу в табл.1.5 наводяться значення цих коефіцієнтів для зернових культур.

Таблиця 1.5 – Коефіцієнти  $a, b, c, d$  в рівнянні (1.44) для зернових культур

Період вегетації	Шар ґрунту, см	$a$	$b$	$c$	$d$
1	2	3	4	5	6
Ранні ярі зернові культури (чорноземні ґрунти)					
Сівба – вихід в трубку (1-й період)	0-20	-0,10	+0,35	-0,28	+0,9
	0-100	-0,27	+0,78	-0,127	+2,0
Вихід в трубку– цвітіння (2-й період)	0-100	+0,07	+0,93	-0,176	-20,6
	0-100	-1,72	+1,08	-0,229	+23,3
Цвітіння – воскова стиглість (3-й період)	0-100	-1,72	+1,08	-0,229	+23,3
1	2	3	4	5	6
Підзолисті ґрунти					
1-й період	0-20	0,54	0,22	0,20	7,6
	0-100	0,40	1,24	0,31	2,5
2-й період	0-100	1,53	0,51	0,13	17,7
	0-100	0,93	0,64	0,09	10,7

Здатність рослин використовувати вологу з ґрунту визначається співвідношенням коріння і наземної маси та їх розвитком. Тому для розрахунку запасів продуктивної вологи вегетаційний період сільськогосподарських культур розбивається на міжфазні періоди (це тривалість періоду від дати настання однієї фази до дати настання наступної). Розрахунок зміни запасів продуктивної вологи по міжфазних періодах виконується послідовно для кожної декади розвитку. Для цього за початкові значення запасів продуктивної вологи беруться значення



найменшої вологомісткості в першу декаду після відновлення вегетації. Вона визначається раз у п'ять років для кожного типу ґрунтів. Для наступної декади розраховані запаси вологи приймаються за початкові. Температура повітря та опади використовуються за ту декаду, для якої ведуться розрахунки запасів продуктивної вологи.

Якщо в розрахунках отримано від'ємний результат, то вони прирівнюються до 0.

#### 1.4 Практичні заняття .

**1.4.1** I - Розрахувати вологопровідність ґрунту  $K_i$  для кожного шару до глибини 100см,: область Київська, станція Біла Церква, ґрунти – чорнозем легкосуглинковий. Розрахунок виконується в табл.1.6.

II - Розрахувати потенціал ґрунтової вологи  $\Psi_{s_i}$ .

III - Розрахувати густину потоку або інакше потоки вологи крізь межі шарів ґрунту.

IV - Розрахувати запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 - 20 см та 0 - 100 см під зерновими культурами ( при розрахунках використовувати форму табл. 1.6).

Таблиця 1.6 –  $\gamma=30,4$ ;  $F = 3,5$ ;  $\Psi_o = 15$  бар

Фактичні дані				Розраховані дані			
Шар ґрунту, см	$W_i$ , %	$W^{BB}$ , %	$W^{PB}$ , %	Вологопровідність ґрунту		Потенціал ґрунтової вологи $\Psi_{s_i}$ , бар	Густина потоку $q_i^j$ , (м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·с–м/с)
				$\gamma$	$k_i$		
0-10	20,1	8,0	36,6				
0-20	19,6	7,9	37,9				
0-30	19,2	8,6	36,7				
0-40	19,0	8,4	40,2				
0-50	18,1	8,3	45,8				
0-60	18,0	8,0	46,5				
0-70	18,5	9,0	47,1				
0-80	18,8	9,4	48,0				
0-90	19,0	9,1	42,7				
0-100	19,8	9,0	45,4				

Таблиця 1.7 – Розрахунок запасів продуктивної вологи під зерновими культурами

Показники	Значення метеорологічних величин									Дата воскової стиглості
	Квітень		Травень			Червень			Липень	
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	
Фаза розвитку	сівба	сходи	кущіння	вихід у трубку	колосіння					
Дата настання	11.04	20.04	11.05	21.05	10.06					10.07
Середня за дек. тем-ра повітря, °С	6,3	12,0	11,3	8,7	15,0	17,2	18,4	19,6	21.4	
Сума опадів, мм	8	10	16	33	13	26	32	10	0	
Запаси прод. вологи в шарі: 0-20 см, мм	35									
0-100 см, мм	112									

1.4.2 I - За даними тривалості сонячного сяйва і відносної площі листя озимої пшениці (табл.1.8) розрахувати інтенсивність ФАР у посіві за кожну добу декади.

II - За даними спостережень за хмарністю і відотною площею листя кукурудзи (табл.1.9) розрахувати інтенсивність ФАР у посіві.

III - За даними актинометричних спостережень (табл.1.10) розрахувати сумарне надходження ФАР за період вегетації картоплі.

Таблиця 1.8 – Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з озимою пшеницею (за декаду)

Квітень, 2-а декада,

ст. Роздільна, Одеська область

Дата	$L$ , $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$	$SS$ , год.	$Q$ , кал. $\text{см}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$	$\delta$ , град	$\tau_d$ , год.	$J_o$ , кал. $\text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1}$	$J$ , кал. $\text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1}$
11.04	0,83	5,8		0,316	14,0		
12.04	0,86	12,0		0,330	14,1		
13.04	0,91	13,3		0,323	14,2		
14.04	0,97	3,8		0,328	14,5		
15.04	1,00	3,5		0,332	14,7		
16.04	1,05	9,5		0,336	15,0		
17.04	1,06	5,7		0,338	15,1		
18.04	1,09	7,5		0,342	15,2		
19.04	1,12	7,7		0,346	15,2		
20.04	1,16	13,4		0,350	15,3		

Дані для обчислення:  $A = 0,73^0$   $0,006=0,004$   $B=0,68$   $1=0,68$   
 $\sin h_0=0,684$

Таблиця 1.9 – Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з кукурудзою (за декаду)

Липень, 2-а декада, ст. Болград

Дата	$L$ , $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$	$n$	$n_n$	$Q$ , кал. $\text{см}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$	$\delta$ , град	$\tau_d$ , год.	$J_o$ , кал. $\text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1}$	$J$ , кал. $\text{см}^{-2} \cdot \text{хв}^{-1}$
11.07	1,82	0,5	0,7		0,316	14,0		
12.07	1,85	0,7	1,0		0,330	14,1		
13.07	1,88	0,0	0,7		0,323	14,2		
14.07	1,94	0,6	0,7		0,328	14,5		
15.07	1,96	0,7	0,7		0,332	14,7		
16.07	2,05	0,3	0,4		0,336	15,0		
17.07	2,08	0,3	0,6		0,338	15,1		
18.07	2,11	0,6	1,0		0,342	15,2		
19.07	2,19	0,0	0,6		0,346	15,2		
20.07	2,25	0,4	0,5		0,350	15,3		

Таблиця 1.10 – Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з картоплею за  
 вегетаційний період  
 Посадка - 28 квітня, Стиглість 24 серпня, ст. Одеса

Місяць	Декада	$S'$ , кал·см <sup>-2</sup>	$D$ , кал·см <sup>-2</sup>	$J_o$ , кал·см <sup>-2</sup>
Квітень	1	1750	1850	
---	2	2120	2090	
---	3	2850	2180	
Травень	1	2250	2090	
---	2	3690	2020	
---	3	3480	1960	
Червень	1	3460	1980	
---	2	3430	2110	
---	3	3490	2130	
Липень	1	3850	2010	
---	2	4250	1790	
---	3	4410	1820	
Серпень	1	4010	1690	
---	2	3490	1620	
---	3	3520	1780	

## 2 АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА НАЙВАЖЛИВІШІ ПРОЦЕСИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН

### 2.1 Агророметорологічні умови і онтогенез вищих рослин

**Онтогенез** – це життя рослин з моменту появи заплідненої клітини або виникнення бруньки запліднення, яка дає початок органам вегетативного розмноження, до природного відмирання.

Нормальний онтогенез у більшості видів вищих рослин складається із двох основних періодів: вегетативного і генеративного. В перший період формується вегетативна сфера рослини – коріння, стебла, листя. В другий – генеративна сфера – суцвіття, квіти, плоди і насіння. У деяких видів життєвий цикл має також період покою, коли зростання і органотворчі процеси дуже уповільнюються або зовсім припиняються. За загальною тривалістю життєвого циклу всі рослини поділяються на однорічні, дворічні та багаторічні.

У процесі розвитку в рослинах відбувається ціла низка зовнішніх змін: проростання насіння, поява сходів, ріст стебла, утворення репродуктивних органів. На основі багаторічних спостережень майже у всіх культурних рослин визначені фази розвитку – **фенологічні фази**. Кожна фенологічна фаза – це характеристика появи певних зовнішніх ознак або нових органів [17]. Але фази розвитку не відтворюють усіх складних органотвірних процесів, які відбуваються в рослині під впливом зовнішніх факторів. Увесь процес органогенезу проходить етапами, які притаманні кожному виду, роду, сімейству рослин та існують у певній закономірності та послідовності. Для багатьох видів рослин встановлено 12 основних етапів органогенезу.

*Перший* етап органогенезу у більшості сільськогосподарських культур відбувається в міжфазний період проростання насіння – поява сходів.

*Другий* етап органогенезу починається з моменту появи сходів і триває впродовж міжфазного періоду сходи – вихід у трубку, у багаторічних рослин – співпадає з диференціацією верхової та пазушної бруньок.

На *третьому* та *четвертому* етапах органогенезу відбувається диференціація осі суцвіття.

На *п'ятому* та *шостому* етапах органогенезу формуються зачатки квітки і генеративних органів, археоспорій, мікроспори.

На *сьомому* та *восьмому* етапах закінчується формування пилку та яйцевого апарату зародкового міхура. *Дев'ятий* етап характеризується цвітінням, заплідненням і утворенням зав'язі. На *десятому* етапі відбувається ріст плоду, зародка та ендосперми насіння. На *одинадцятomu* та *дванадцятomu* етапах органогенезу закінчується процес

формування плодів і насіння, накопичуються поживні речовини та відбувається перетворення їх у запасні.

Тривалість етапів органогенезу, інтенсивність утворення органів та амплітуда варіювання тривалості кожного етапу визначається спадковістю виду і сорту та мірою оптимізації провідних факторів середовища, кількість яких може бути необмеженою. Але серед цієї необмеженості відзначаються найбільш суттєві фактори:

➤ **мікрометеорологічні:**

1. освітлення;
2. температура приземного шару повітря;
3. вологість приземного шару повітря;
4. вміст у приземному шарі повітря  $\text{CO}_2$  та  $\text{O}_2$ ;

➤ **грунтові:**

1. температура ґрунту;
2. вологість ґрунту;
3. аерація ґрунту;
4. фізико-механічні властивості ґрунту;
5. вміст гумусу в ґрунті;
6. хімічний склад ґрунту;
7. окислювально-відновні процеси;

➤ **біотичні:**

1. густота популяції;
2. фізіологічні характеристики.

Всі фактори навколишнього середовища діють на живий організм одночасно та сумісно. І при цьому дія одного фактора значною мірою залежить від кількісного виразу інших факторів.

У комплексній дії середовища значення окремих факторів у житті рослин неозначене. Відзначають фактори головні і другорядні. У різних рослин, та навіть для однієї і тієї ж рослини, вимоги до факторів навколишнього середовища змінюються впродовж вегетаційного періоду.

У багаторічних, полікарпічних трав'янистих і деревних рослин пагони різних років життя можуть бути на різних етапах органогенезу, через те у багаторічних рослин відзначають систему пагонів. Оцінку стану рослини проводять за станом пагонів, які досягли найвищого рівня розвитку.

## **2.2 Екологічні фактори існування рослин**

Перш ніж перейти до характеристики екологічних факторів існування рослин, слід визначити деякі поняття.

**Середовище** - це комплекс природних тіл і явищ, з якими організм знаходиться в прямих або побічних взаємовідносинах.

**Зовнішнє середовище** - це сукупність сил і явищ природи, її речовина, її простір, будь - яка діяльність людини , яка знаходиться зовні об'єкта, без контакту з природою.

**Природне середовище** - це сукупність сил і явищ природи, її речовина, її простір, будь - яка діяльність людини, яка контактує з нею.

**Середовище мешкання** – включає в себе сукупність абіотичних і біотичних факторів окремого організму або біоценозу в цілому, які впливають на його ріст та розвиток.

В живій природі існує чотири типи середовищ мешкання:

I – водне;

II – наземне;

III – ґрунтове;

IV – тіло іншого організму.

**Умови існування рослин** – це ті елементи середовища мешкання, які для конкретних видів чи співтовариств не байдужі , є по відношенню до організмів екологічними факторами ( світло, тепло, повітря, інші організми і т. ін.).

Екологічні фактори діляться на

**зовнішні:**

- ✓ сонячна радіація;
- ✓ інтенсивність атмосферних опадів;
- ✓ атмосферний тиск;
- ✓ швидкість вітру;
- ✓ швидкість течії ін.

**внутрішні:**

- ✓ чисельність і біомаса популяцій;
- ✓ запаси різних речовин;
- ✓ характеристика приземного шару повітря;
- ✓ водної маси;
- ✓ ґрунтової маси.

Для характеристики величезної кількості екологічних факторів введено поняття простір екологічних факторів, який називається евклідовим простором. В цьому просторі кожній конкретній комбінації значень екологічних факторів відповідає точка евклідового простору з визначеними властивостями.

Для кількісної характеристики впливу екологічних факторів на показники життєдіяльності рослин і тварин ( швидкість росту та розвитку, плодючість, тривалість життя, харчування, метаболізм, активність рухів, смертність та ін.) застосовується поняття про функції відгуку одного фактора на зміну інших. Для кожної допустимої комбінації екологічних факторів (наприклад радіація та температура) функція показує відповідне цій комбінації значення показника, що досліджується (наприклад швидкість нетто-фотосинтеза).

Незважаючи на те, що кількість екологічних факторів може бути дуже велика, насправді виділяється кількість факторів, за допомогою яких можна пояснити швидкість зміни інших.

Діапазон дії (інакше зона толерантності) екологічного фактора обмежується відповідними крайніми пороговими значеннями цього фактора, за яких можливе існування будь-якого організму. Точки мінімуму, оптимуму та максимуму складають три основні точки, які визначають можливість реакції організму на певний екологічний фактор.

Умови середовища, в якому який-небудь фактор (або сукупність факторів) виходить за межі зони толерантності і пригнічує рослини, називаються *екстремальними*. Це визначення екстремальних умов стосується не тільки екологічних факторів, а взагалі всіх умов, де життя майже закінчується (полярні зони, високогір'я, пустелі).

Закон дії екологічних факторів на організми в зоні толерантності називається *законом оптимуму*. Межі закону оптимуму можуть значно змінюватись в залежності від значень, яких набирають інші фактори. В цьому випадку виникає два питання: 1) який із факторів має найбільший відносний вплив на зміну відгуку за даної комбінації факторів; 2) чи збережеться відносна важливість фактору при переході в інші точки простору екологічних факторів?

Ю. Лібіх сформулював щодо компонентів мінерального живлення *закон мінімуму*, згідно якого величина врожаю визначається кількістю того елемента живлення, потреба в якому задовольняється найменше. Всі фактори, рівень значень яких наближається до меж витривалості організмів або перевищує їх, називаються *лімітуючими факторами*. Інакше кажучи, лімітуючим вважається той фактор, за якого для досягнення заданої відносної зміни відгуку необхідна мінімальна відносна зміна цього фактора.

Що стосується відповіді на питання, чи збережеться відносна важливість фактора при переході в інші точки простору екологічних факторів, відповідь на це дав А. Мітчерліх, встановивший закон фізіологічних взаємозв'язків, який потім назвали *законом сумісної дії екологічних факторів*.

Закон виражається в тому, що величина врожаю залежить не від одного, навіть лімітуючого фактора, а від сукупності факторів одночасно, тобто

$$f_k = f(x_1, \dots, x_n). \quad (2.1)$$

Продовжуючи розробки Мітчерліха, Бауле запропонував описувати залежність функції відгуку від всієї сукупності екологічних факторів одночасно

$$f(x_1, \dots, x_n) = A_{\max} (1 - 10^{-c \cdot x_1}) \cdot \dots \cdot (1 - 10^{-c \cdot x_n}), \quad (2.2)$$



де  $A_{\text{макс}}$  – максимальний урожай зерна пшениці за оптимальних умов;  
 $c_i$  - коефіцієнти дії відповідних факторів, які розраховані Мітчерліхом і наводяться в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти дії факторів ( за Мітчерліхом)

Номер	Фактор $x_i$	Коефіцієнт дії $c_i$
1	Сонячна радіація	2,0 на одиницю повної сонячної радіації
2	Температура ґрунту	0,01 на 1 °С
3	Опади	0,003 на 1 мм опадів
4	Азот	0,122 на 1 ц N/га
5	Фосфор	0,6 на 1 ц P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /га
6	Калій	0,4 на 1 ц K <sub>2</sub> O/га
7	Магній	2,0 на 1 ц MgO <sub>2</sub> /га
8	Сірка	15,0 на 1 ц SO <sub>4</sub> /га

Екологічні фактори зовнішнього середовища впливають на живий організм одночасно і сумісно, при цьому дія одного із факторів значною мірою залежить від кількісного виразу іншого. Ця закономірність дістала назву *взаємодія екологічних факторів*.

Жоден з екологічних факторів, необхідних живому організму, не можна замінити іншим. Тому, якщо дія тільки одного із факторів виходить за межі діапазону толерантності ( тобто, нижче мінімуму або вище максимуму), то існування організму не можливе.

В комплексній дії середовища значення окремих екологічних факторів нерівноцінні. Серед них виділяють провідні і другорядні. Для різних рослин провідні і другорядні фактори можуть бути різними навіть у випадках вирощування рослин в одному і тому ж місці. В різні періоди онтогенезу рослин може спостерігатись зміна провідних факторів [17].

### 2.2.1 Температура повітря

*Тепловим режимом атмосфери* називається характер розподілу і зміни температури в атмосфері. Тепловий режим атмосфери визначається здебільшого її теплообміном з навколишнім середовищем. Велику роль у розвитку процесів, пов'язаних із взаємодією атмосфери та зеленої поверхні, відіграє приземний шар атмосфери. Він має товщину в декілька десятків метрів і його стан дуже впливає на флору і фауну, на умови життєдіяльності всього живого.

Основним джерелом нагрівання приземного шару є тепло, що надходить від діяльної поверхні. Перенесення тепла між діяльною поверхнею і атмосферою, а також у самій атмосфері, здійснюється через

конвективний і турбулентний потоки. **Потік тепла** – це об’єм тепла, що переноситься потоком повітря через одиницю площі за одиницю часу у напрямку, перпендикулярному до площі.

Конвективний потік тепла зумовлюється горизонтальними складовими швидкості вітру.

Турбулентний потік тепла формується завдяки переносу тепла турбулентними полями. Він формується всередині атмосфери внаслідок закрученого хаотичного руху повітря, тобто турбулентності. Турбулентні потоки поділяються на **динамічні і термічні**. Динамічні потоки виникають внаслідок появи сили тертя. Теплові потоки (теплова конвекція) – виникають через нерівномірне нагрівання різних ділянок поверхні. Теплова конвекція на суші розвивається вдень і влітку, над морем – вночі і взимку.

Конвективні і турбулентні потоки тепла зумовлюють зміну температури приземного шару повітря як впродовж доби, так і впродовж року. Добовий хід температури повітря має максимум о 14 – 15-й годині і мінімум перед сходом сонця. Амплітуда температурних коливань залежить від погодних умов, пори року, рельєфу, фізичних властивостей ґрунту та є важливою характеристикою клімату.

В ясну погоду амплітуда температур вища, ніж у похмуру, оскільки хмари затримують випромінювання і тим самим підвищують нічну температуру. Також амплітуда температур у середніх широтах взимку менше, ніж влітку.

Річний хід температури повітря у різних географічних зонах різний і залежить від широти місця, континентальності його розташування та висоти над рівнем моря. Характеристикою річного ходу температури є амплітуда річних коливань температури повітря (різниця між середніми місячними температурами найтеплішого та найхолоднішого місяця).

За величиною середньої багаторічної амплітуди температур і часом наступання екстремальної температури виділено чотири типи річного ходу температури повітря ( рис.2.1 )

Температура повітря у тропосфері з висотою зменшується приблизно на  $0,6^{\circ}\text{C}$  на кожні 100 м висоти. Але в приземному шарі повітря розподіл температури може бути будь-яким: збільшуватись, зменшуватись, залишатись без змін.

Розподіл температури з висотою характеризується вертикальним градієнтом ( *ВГТ* )

$$ВГТ = ( t_H - t_B ) / ( Z_B - Z_H ) , \quad (2.3)$$

де  $t_H - t_B$  – різниця температури між нижнім та верхнім рівнями;

$Z_B - Z_H$  – відстань між двома рівнями.

Зазвичай ВГТ розраховується на 100 м висоти.

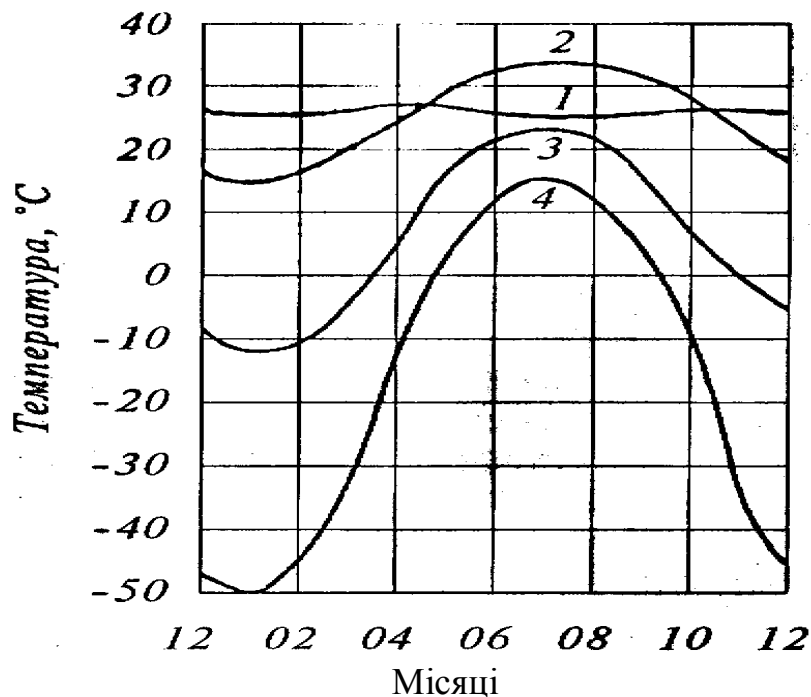


Рис.2.1 – Типи річного ходу температури повітря: 1 – екваторіальний (Джакарта,  $\varphi = 6^{\circ}$  півд. ш.); 2 – тропічний (Асуан,  $\varphi = 24^{\circ}$  півн. ш.); 3 – помірного поясу (Саратов,  $\varphi = 52^{\circ}$  півн. ш.); 4 – полярний (Верхоянськ,  $\varphi = 67^{\circ}$  півн. ш.).

У приземному шарі повітря значення ВГТ залежить від погодних умов, пори року, пори доби, вітру, вологості ґрунту, наявності рослинного покриву.

Достатня кількість тепла є головною умовою для життя рослин. Для кожного етапу життєвого циклу існують цілком визначені температурні межі і деякий оптимум, після переходу через які інтенсивність процесу життєдіяльності припиняється.

Фізіологічні процеси, що протікають в організмах рослин – фотосинтез, дихання, транспірація, живлення та інші, відбуваються за певних рівнів температури. Вимоги рослин до тепла змінюються в досить широких межах і визначаються трьома кардинальними точками: температурним мінімумом, нижче якого рослини не розвиваються (біологічний мінімум), температурним оптимумом, тобто найсприятливішою температурою для розвитку рослин та температурним максимумом, за межами якого рослини існувати не можуть. Значення температури між температурним оптимумом та мінімумом називається зоною комфорту [10].

Діапазон дії (або зона толерантності) температури повітря (або іншого будь-якого чинника) обмежується крайніми пороговими значеннями температури, за якої можливе існування рослинного організму (рис. 2.2).

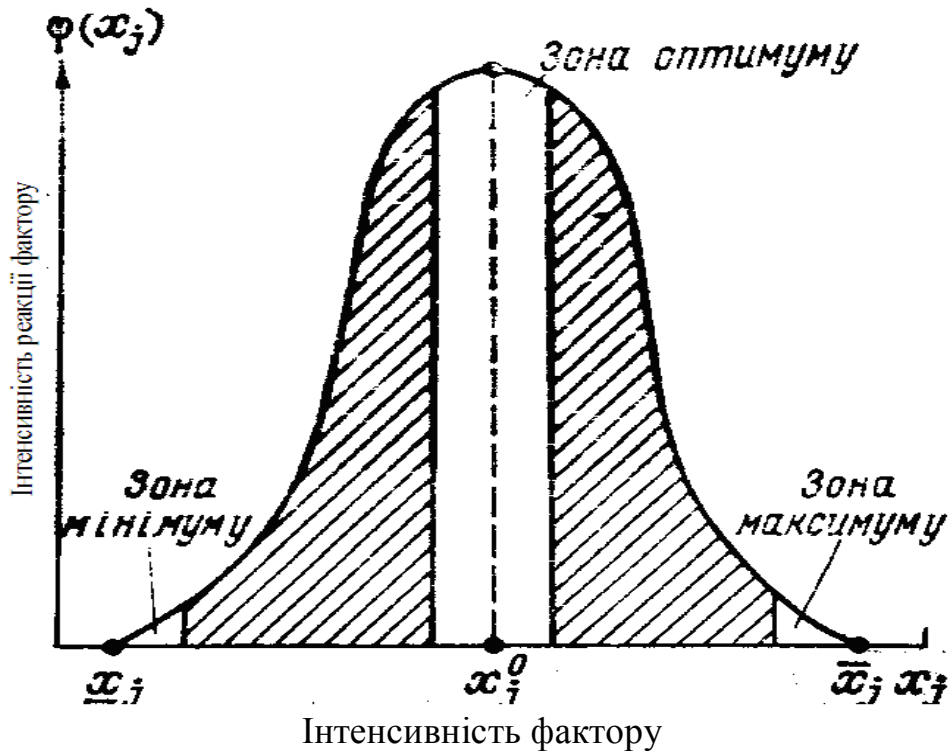


Рис.2.2 – Схема дії екологічного фактору на рослини (за К.М.Ситником, А.В.Брайоном, О.В.Городецьким).

$\underline{x}_j$  – точка мінімуму,  $x_j^0$  – точка оптимуму;  $\bar{x}_j$  – точка максимуму.

Точка на осі абсцис, що відповідає найкращим умовам життєдіяльності рослинних організмів  $x_j^0$ , визначає оптимальне значення фактору. Одну точку визначити досить складно, тому, за звичай, визначають зону оптимуму (зону комфорту).

Точки мінімуму  $\underline{x}_j$ , оптимуму  $x_j^0$  та максимуму  $\bar{x}_j$  визначають можливі реакції рослинного організму на даний фактор.

За пристосуванням рослин до термічного режиму розрізняється:

- 1 - характерна крива розвитку;
- 2 - визначений рівень температур, в межах якого відбувається розвиток рослини;
- 3 - загальна сума тепла, необхідна для всього періоду вегетації рослини.

По відношенню до температурної кривої розвитку рослини поділяються на 3 групи.

До першої групи відносяться всі рослини тропічного походження, які впродовж свого розвитку потребують майже однакової температури.

До другої групи відносяться зимуючі дворічні і озимі рослини, що розвиваються у помірному кліматі при поступовому зниженні температури восени і закінчують вегетацію навесні та влітку.

До третьої групи відносяться ярі культури помірних та субтропічних широт, які починають вегетацію при знижених температурах, але для подальшого розвитку потребують підвищених температур.

За рівнем температури початку і кінця вегетації рослини поділяються на 4 групи:

I група - рослини, що починають свій розвиток за температури  $5^{\circ}\text{C}$  і вище;

II група – рослини, що потребують помірного тепла і розвиваються за температури  $10^{\circ}\text{C}$ ;

III група – теплолюбні рослини, що ростуть за температури  $15^{\circ}\text{C}$  (це вимогливі до тепла рослини помірного поясу і рослини літнього періоду субтропічного поясу);

IV група – дуже теплолюбні рослини тропічного поясу, що розвиваються за температури  $20^{\circ}\text{C}$ .

Рослини також характеризуються визначеними біологічними мінімумами, максимумами та оптимумами температури.

Для оцінки температурного режиму використовуються такі температурні характеристики:

- ✓ середня за добу температура повітря, визначається як середнє арифметичне із усіх значень температури, виміряних в усі строки спостережень (це або чотири, або шість, або вісім значень). На разі на усіх типах гідрометеорологічних станцій мережі Департаменту гідрометеорології температура повітря визначається 8 раз на добу;
- ✓ середня температура за декаду, визначається як середнє арифметичне із середньодобових температур за 10 або 11 діб;
- ✓ середня температура за місяць, визначається також як середнє арифметичне значення із середньодобових температур.
- ✓ середньорічна температура, визначається як середнє арифметичне із середніх за добу, декаду або місяць значень температури повітря.

У сільськогосподарському виробництві найчастіше використовуються значення середньої температури за декаду, міжфазний період розвитку рослин.

**Міжфазний період** – це відрізок часу у днях між двома якісно новими станами рослин, що настають один за одним впродовж всієї вегетації рослин. Якісно новий стан рослин, який настає після проходження певного відрізка часу та накопичення фізіологічних змін в

стані рослин (наприклад: сходи пшениці та утворення третього листка, або розпускання бруньок плодових дерев та цвітіння та ін.).

Однак середні характеристики не відтворюють добовий хід температури повітря, що дуже важливо для сільськогосподарського виробництва. Особливо це необхідно у перехідні сезони року (весна, осінь). Тому вживається поняття максимальних та мінімальних температур, вищих чи нижчих за будь-яку межу (0, 5, 10, 15, -5, -10 °С).

Рослини розвиваються тільки у тому випадку, якщо середня температура повітря досягає межі біологічного мінімуму. Біологічний мінімум для холодостійких рослин (пшениця, жито, овес, ячмінь та ін.) становить + 5 °С, для теплолюбних рослин він становить – +10...+ 15 °С (кукурудза, рис, виноград, бавовна, деякі овочеві культури). Біологічний мінімум розвитку культур змінюється впродовж вегетації (табл. 2.2).

*Біологічні суми температур* – це суми температур за вегетаційний період культури. *Веgetаційним періодом називається період у днях від сівби до збирання врожаю.*

Таблиця 2.2 – Біологічний мінімум температури у різні періоди вегетації / за В.М. Степановим /

Культури	Поява сходів і формування вегетативних органів, °С	Формування генеративних органів, °С
<i>Зернові культури</i> (пшениця яра, жито, ячмінь)		
Овес	4 – 5	10 – 12
Гречка	4 - 5	10 – 12
Просо	7 - 8	10 - 12
Кукурудза	10 – 11	12 – 15
Рис	10 – 13	12 – 15
Сорго	14 – 15	18 – 20
<i>Зернобобові</i>		
Віка	12 - 13	15 - 18
Горох	4 - 5	10-12
Чечевиця	4 - 5	8 – 10
Люпин	5 – 6	12 - 15
Соя	10 – 11	8 – 10
Квасоля	12 – 13	15 – 18
	12 – 13	15 – 18
<i>Олійні та прядивні</i>		
Рапс ярий	2 – 3	8 – 10
Соняшник	7 – 8	12 – 15
Льон кудряш	5 – 6	10 – 12
Льон- довгунець	5 – 6	10 – 12
Коноплі	2 – 3	10 – 12
Бавовна	14 - 15	15 – 20

Дослідженнями багатьох авторів були встановлені статистичні зв'язки залежності тривалості міжфазних періодів від середньої температури за період. Особливо чітка залежність простежується у теплолюбних культур з біологічним мінімумом вище  $10^{\circ}\text{C}$  (табл.2.3).

Потреба рослин в теплі за вегетаційний період характеризується сумами середніх за добу температур. Кожна рослина потребує для повного розвитку певну суму температур. Для визначення сум температур, необхідних для розвитку сільськогосподарських культур, використовуються суми температур : активних і ефективних.

**Сума активних температур** – це сума середніх за добу температур після переходу їх через біологічний мінімум.

**Сума ефективних температур** – це сума середніх за добу температур, зменшена на величину біологічного мінімуму. Оскільки значення біологічного мінімуму різне не тільки для різних рослин, а і для різних міжфазних періодів однієї і тієї ж рослини, то сума ефективних температур також різна при однакових значеннях середньої за добу температури.

Суми активних і ефективних температур мають екологічне значення через те, що відтворюють зв'язок рослини із середовищем мешкання. В районах достатнього зволоження та в районах зрошуваного землеробства продуктивність культур залежить від теплозабезпеченості вегетаційного періоду( рис. 2.3).

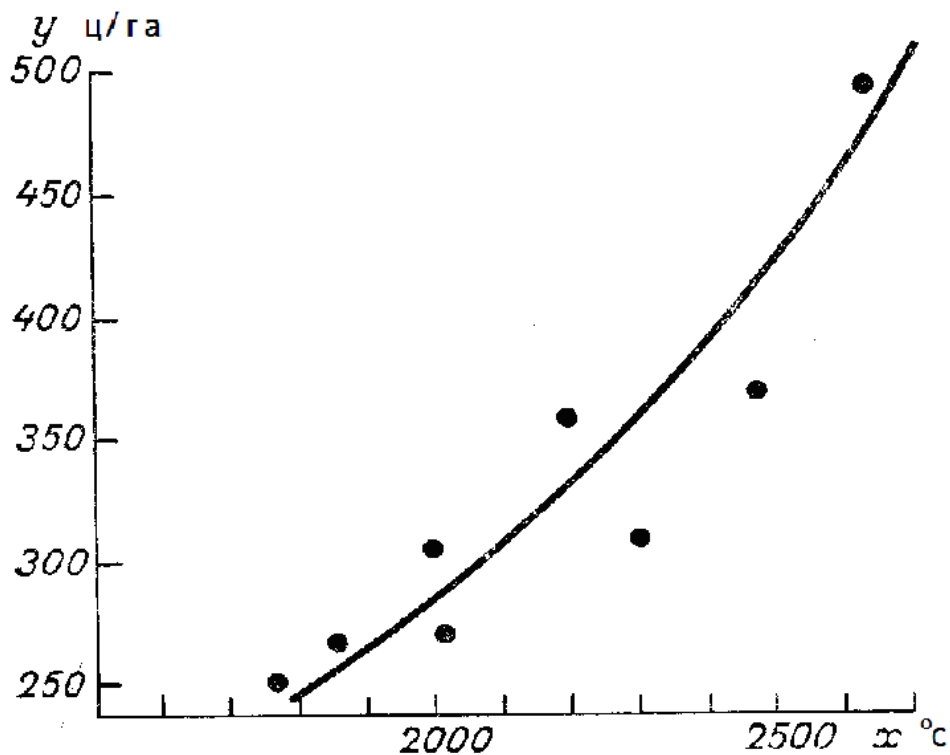


Рис. 2.3 - Залежність урожаїв огірків (у) від сум температур за вегетаційний період (х).

Таблиця 2.3 – Зв'язок тривалості міжфазного періоду солодкого перцю «висаджування розсади у ґрунт – цвітіння» з середньою температурою повітря за період

Сорти солодкого перцю	Тривалість міжфазного періоду (дні) за різної середньої температури повітря ( <sup>0</sup> С) за період								Рівняння зв'язку	Коефіцієнт кореляції	Сума активних температур, <sup>0</sup> С
	15	16	17	18	19	20	21	середня			
Новочеркаський 35, Молдавський білий	54	45	40	38	36	34	29	37	$Y = -4,75t + 126$	- 0,71	680
Подарунок Молдови, Молдова 118, Ювілейний 307	63	60	55	48	37	33	31	46	$Y = -5,8t + 151$	- 0,69	790



Для уточнення термічних умов, необхідних рослинам, користуються також сумами денних та сумами нічних температур. Дослідження О.І. Руденко та З.А. Міщенко показали, що для більш досконалої оцінки впливу температури повітря на розвиток рослин необхідно враховувати окремо середні денні та середні нічні температури [10].

Дослідженнями Ю.І. Чиркова встановлено, що є деяка мінливість сум ефективних температур за міжфазні періоди в залежності від рівня середньої температури повітря за добу. Підвищення середньої за добу температури вище оптимальних значень температури для даної культури не сприяє прискоренню її розвитку. Температури, що не сприяють прискоренню розвитку рослин, називаються *баластними* [5].

Суми активних та ефективних температур мають екологічне значення, оскільки відображують зв'язок рослин з середовищем мешкання.

Окрім середніх, максимальних та мінімальних температур ще використовуються для характеристики теплового режиму суми температур. Відрізняють кліматичні і біологічні суми. *Кліматичні суми температур* – це суми температур, вищі за будь-яку межу ( наприклад, від дати переходу температури повітря через 5<sup>0</sup>С навесні до такої ж дати восени ).

Значення сум температур залежить від широти місця та від його висоти над рівнем моря.

Температура повітря є також одним із головних метеорологічних факторів, який визначає можливість вирощування рослин у будь-якій природно-кліматичній зоні, можливість виникнення хвороб рослин та розповсюдження шкідників.

Тепло – один із основних екологічних факторів життєдіяльності біоценозів, тому його необхідно враховувати при розміщенні сільськогосподарських культур та проведенні агротехнічних заходів.

Температура повітря обумовлює життєдіяльність збудників хвороб та можливість їх збереження і розповсюдження.

Для оцінки загальних термічних ресурсів території використовується сума активних температур вище 10<sup>0</sup>С, оскільки за такого значення температури активно відбувається вегетація більшості рослин. Для оцінки потреб рослин у теплі використовується *біологічна сума температур*, тобто сума температур повітря за вегетаційний період рослин ( табл.2.4 ).

Дослідження біологічних сум температур, проведені С.О. Сапожниковою та Д.І. Шашко [17] показали, що вони змінюються в залежності від континентальності клімату.

Таблиця 2.4 – Потреба сільськогосподарських культур в теплі  
( в біологічних сумах температур повітря )

Культура	Скоростиглість сорту	Період	Біологічна сума температур для широти 55 <sup>0</sup> півн.ш., <sup>0</sup> С
Яра пшениця	Ранні	Сівба	1400
	Середні	воскова	
	Пізні	стиглість	
Ячмінь	Ранні	„	1500
	Середні	„	1700
	Пізні	„	1250
Овес	Ранні	„	1350
	Середні	„	1450
	Пізні	„	1250
Озима пшениця	Ранні	„	1450
	Середні	„	1550
	Пізні	„	1400
Кукурудза	Ранні	„	1450
	Середні	„	1500
	Середньо-пізні	„	2200
Гречка	Ранні	„	2500
	Середні	„	2700
	Пізні	„	1200
Рис	Ранні	„	1300
	Середні	„	1400
	Пізні	„	2500
Соняшник	Ранні	„	2820
	Середні	„	3320
	Пізні	„	1850
Картопля	Ранні	„	2000
	Середні	„	2300
	Пізні	„	1400
Томати	Ранні	„	1600
	Середні	„	1800
	Пізні	„	1750
			1950
			2100

Характеристика термічного режиму тієї чи іншої місцевості не вичерпується тільки середніми сумами температур періоду вегетації сільськогосподарських культур.

Для вирішення цілої низки питань необхідно знати, як швидко накопичується тепло навесні та які суми температур бувають за окремі міжфазні періоди. Ф.Ф.Давітая [18] встановив, що розвиток весняних, літніх та осінніх процесів на великих просторах іде закономірно. Ця закономірність зумовлюється макропроцесами: припливом сонячної радіації, циркуляцією атмосфери та особливостями підстильної поверхні. Тому темпи наростання тепла на весні змінюються мало, вони тільки зміщуються за часом.

Ф.Ф. Давітая встановив асинхронні зв'язки між строками початку весни і загальною кількістю тепла влітку. За індекс весни взята дата переходу температури повітря через  $10^{\circ}\text{C}$  навесні.

Чим раніше настає ця дата, тим більша кількість тепла накопичується за вегетаційний період. Кількість тепла виражена через суму температур вище  $10^{\circ}\text{C}$  ( $\Sigma t > 10^{\circ}\text{C}$ ). Між датою переходу температури повітря через  $10^{\circ}\text{C}$  та кількістю тепла існує тісний зв'язок, який характеризується високими значеннями коефіцієнтів кореляції майже у всіх географічних зонах.

Характер залежності сум температур вище  $10^{\circ}\text{C}$  від початку весняних процесів неоднаковий в різні відрізки вегетаційного періоду. Якщо його розбити на дві частини, відокремивши перші два місяці, то залежність сум температур від дати переходу через  $10^{\circ}\text{C}$  за другий відрізок значно тісніша.

Крім того, Ф.Ф. Давітая також встановив та науково обґрунтував залежність тривалості вегетаційного періоду від початку весни. Таким чином, за датою стійкого переходу температури повітря через  $10^{\circ}\text{C}$  навесні є можливість розрахувати:

- очікувану суму температур вище  $10^{\circ}\text{C}$  за вегетаційний період або окремі його частини;
- тривалість вегетаційного періоду.

Дослідження багатьох авторів показали, що якщо за індекс (Д) весни взяти перехід температури повітря через  $5^{\circ}\text{C}$ , а за індекс (Л) початку літа перехід температури через  $15^{\circ}\text{C}$ , то існує тісний зв'язок сум температур у межах цих дат з відповідними датами переходу температури повітря.

Ф.Ф. Давітая розробив цілу низку рівнянь для розрахунку очікуваних сум температур за вегетаційний період для різних районів. В цілому рівняння має вигляд

$$\Sigma t > 10^{\circ}\text{C} = A - aД , \quad (2.4)$$

де  $A$  – вільний член рівняння,  
 $a$  – коефіцієнт при змінній.

В табл. 2.5 наведені значення  $A$  та  $a$  рівняння (2.4) для різних гідрометеорологічних станцій, розташованих на Європейській частині СНД.

Таблиця. 2.5 – Значення коефіцієнтів  $A$  і  $a$  рівняння (2.4) для прогнозу  $\Sigma t > 10^\circ \text{C}$  за весь вегетаційний період

Станція	Найбільш ранній місяць переходу температури повітря через $10^\circ\text{C}$ навесні	$A$	$a$	$\pm\sigma$
1	2	3	4	5
Європейська частина СНД				
	Квітень			
Мінськ	„	2450	-8,03	220
Рига	„	2940	-18,70	250
Псков	„	2670	-15,50	230
Ленінград	„	2760	-18,25	220
Вологда	„	2280	-11,20	210
Сиктивкар	„	2780	-15,65	220
Кіров	„	2420	-12,15	210
Кострома	„	2560	-13,80	210
Москва	„	2770	-16,21	210
Тула	„	2950	-20,34	220
Орел	„	3070	-24,61	220
Брянськ	„	2690	-14,62	210
Тамбов	„	3140	-20,11	220
Пенза	„	3290	-26,00	230
Казань	„	2960	-18,81	250
Уфа	„	2810	-14,30	230
Оренбург	„	3190	-16,61	200
Чернігів	„	3390	-25,43	220
Київ	„	3270	-23,07	230
Житомир	„	3100	-22,11	220
Тернопіль	„	2910	-16,62	220
Львів	„	3140	-23,75	230
Чернівці	„	3190	-18,65	230
Саратов	„	3530	-23,14	250
Куйбишев	„	2820	-7,20	220
Воронеж	„	3040	-16,62	220

Найбільш ранній місяць в табл. 2.5 наводиться з метою розрахунку кількості днів від першого числа найранішого місяця до переходу

температури повітря через 10 °С навесні в поточному році, тому що в рівнянні (2.4) замість  $D$  використовується як раз така кількість днів.

Суми температур, що характеризують швидкість розвитку рослин, залежать від широти місця, отже і від тривалості світлового дня. Зі збільшенням світлового дня сума температур зменшується для рослин довгого дня і збільшується для рослин короткого дня.

Високі температури несприятливі для розвитку насінних рослин на початку їх росту. Оптимальна температура для формування бруньок становить 17 – 18<sup>0</sup> С. Під впливом високих температур на початку розвитку насінників рослини слабо розвиваються і часто спостерігається утворення вегетативних органів на місці генеративних. Особливо несприятливі високі температури для ранньостиглих сортів [7].

Пізньостиглі сорти, які відзначаються повільним ростом центрального пагону, під впливом високих температур утворюють слабо розвинуті насінневі куці.

Вплив температури повітря на продуктивність посівів рослин проявляється, перш за все, через вплив на інтенсивність процесів фотосинтезу та дихання. О.Л. Жигайло встановила залежність інтенсивності фотосинтезу капусти від середньої температури повітря при різних умовах зволоження (рис. 2.4).

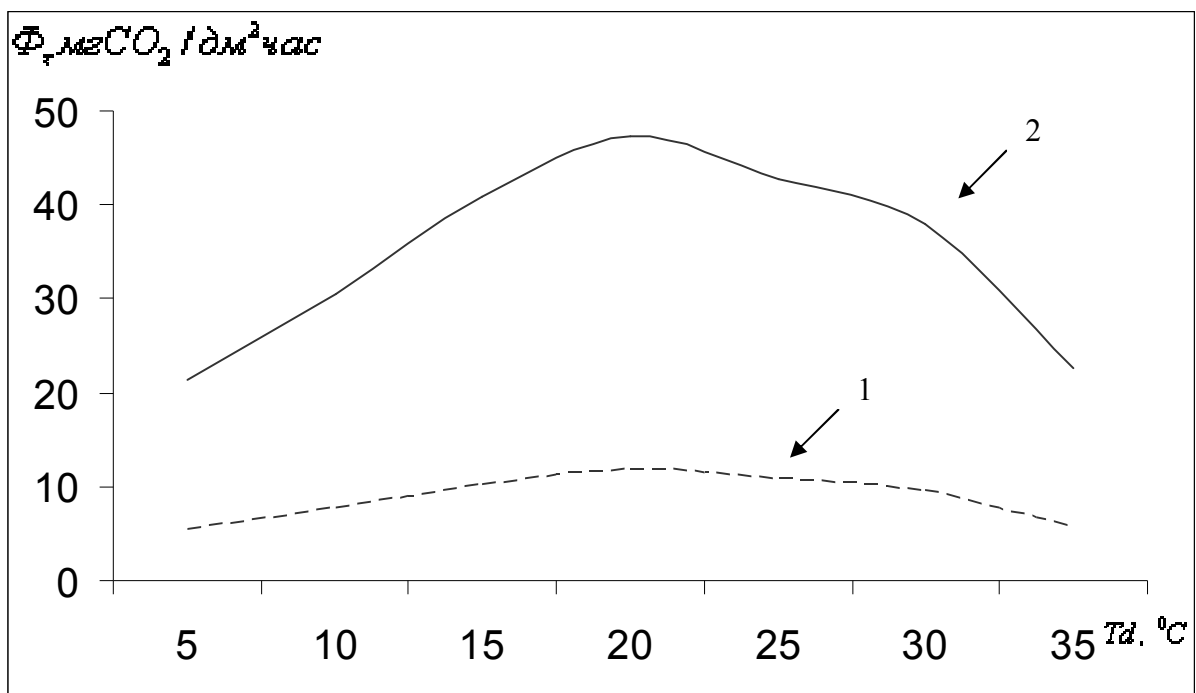


Рис.2.4 - Вплив середньої денної температури повітря на інтенсивність фотосинтезу капусти білоголової при різних умовах вологозабезпеченості: 1 - 20%, 2 - 80%. (за О.Л. Жигайло).

Як видно із рис. 2.4, при підвищенні температури повітря до 20 °С інтенсивність фотосинтезу зростає, при подальшому підвищенні температури інтенсивність фотосинтезу падає.

Ріст і розвиток рослин залежать від рівня температури, але від неї не залежить кількість листків на рослині. Вплив температур на загальну площу листя однієї рослини виражається через розміри листків та тривалість їх життя. На інші процеси, які відбуваються в рослині, температура впливає значно. Від рівня температури залежить швидкість органотвірних процесів, кількість органів у відповідну фазу онтогенезу, кількість пагонів, кількість колосонесних стебел та колосків у колосі зернових культур та ін. Крім того, біомаса й урожайність сільськогосподарських культур тісно пов'язані з кількістю ФАР, яка поглинається рослинами впродовж вегетаційного періоду. За високих температур вегетаційний період скорочується, зменшується кількість поглиненої ФАР і зменшується фотосинтетичний потенціал листя. В останній час з'явилися дослідження про прямий вплив високих температур на якість сільськогосподарської продукції, зокрема, на якість насіння зернових культур [7]. В ньому зменшується кількість білків.

Вплив високих температур на формування урожаю для різних культур різний. На зменшення урожаю за високих температур впливає ціла низка чинників: зменшення кількості органів у відповідну фазу онтогенезу, зменшення кількості пагонів та ін. У кукурудзи, рису, озимої пшениці втрати урожаю можуть бути 10 – 15 %, тоді як у ярої пшениці тільки 4 %. Втрати урожаю значною мірою залежать від зміни швидкості наливу зерна при підвищених температурах. Зменшення маси зернівки зумовлюється різною чутливістю до температури швидкості і тривалості наливу зернівки. В міру підвищення температури збільшення швидкості наливу зернівки не компенсує зменшення тривалості наливу. Тривалість наливу зернівки зменшується з підвищенням температури приблизно на 3 доби на кожен градус підвищення температури вище критичної.

Зниження урожайності в умовах сильної спеки зумовлюється заторможеною здатністю перетворювати фотоасиміляти на крохмаль.

Помірно високі температури впливають на розмір крохмальних гранул А-типу та їх кількість, незначно зменшують вміст сахарози в зернівках усіх зернових культур. Кінцевий результат впливу підвищених температур на урожайність залежить також від того, в який період наливу зернівки вони виникають. Особливо чутливий вплив високих температур на початку розвитку зернівки.

Рослини реагують також на *зниження температур*. Знижені температури сприяють пошкодженню рослин, яке визначається температурою, холодовою експозицією, видом рослин і попередніми умовами розвитку. До пошкодження рослин зниженими температурами відносяться :

- в'янення листя і пагонів, зміна кольору листя і плодів;
- прискорене старіння і розриви охолоджених тканин;
- уповільнене, неповне або нерівномірне дозрівання плодів, що супроводжується погіршенням структури та смакових якостей, збільшенням загнивання;
- підсихання країв та кінчиків листових платівок, опадання листя, некрозу листя та відмирання рослин.

Знижені температури зменшують інтенсивність фотосинтезу, яка пов'язується зі зменшенням активності і притискуванням синтезу ключових ферментів .

Знижені температури сприяють як зменшенню, так і підвищенню інтенсивності дихання [7].

### 2.3 Світло

По відношенню до світла рослини поділяються на три групи:

I група. **Світлолюбні** ( геліофіти). Оптимальна життєдіяльність спостерігається в умовах повного сонячного освітлення. Вони погано переносять затінення. Типовими геліофітами є степові і лучні злаки, рослини тундр, високогір'я, прибережні та напівзанурені рослини, ефемери та ефемероїди, більшість рослин відкритого ґрунту.

II група. **Тіньовитривалі** рослини мають широку екологічну амплітуду по відношенню до світла. Ці рослини краще ростуть та розвиваються за повної освітленості, однак, мають здібність адаптуватися до умов різного рівня затінення. До цієї групи рослин відносяться деякі деревні породи, більшість чагарників та трав'янистих рослин лісової зони, кімнатні рослини.

III група. **Тіньові** рослини ростуть тільки в затінених місцях і в умовах високої освітленості ніколи не ростуть. В процесі еволюції ці рослини адаптувались до умов, які властиві нижнім затіненим співтовариствам темнохвойних і широколистяних лісів, тропічних вологих лісів. Тіньовитривалість цих рослин дуже часто співпадає з великою потребою у воді.

Постійні зміни дня і ночі впродовж тривалого періоду дозволили рослинам в процесі еволюції виробити ритмічні зміни найважливіших життєвих процесів і властивостей їх організму – ***фотоперіодизм***. Фотоперіодизм керує ритмічністю добової та сезонної життєдіяльності рослин, тобто всіма метаболічними процесами, які пов'язані з ростом, розвитком та врожайністю рослин.

У рослин фотоперіодизм проявляється в узгодженні періодів цвітіння та дозрівання плодів з періодом найбільш активного фотосинтезу.

В залежності від фотоперіодичної реакції рослин виділяють:

- **рослини короткого дня**, у яких перехід до цвітіння відбувається за тривалості світлового дня менше 12 годин на добу (коноплі, капуста, амарант та ін.);
- **рослини довгого дня**, для цвітіння і подальшого розвитку їм необхідна тривалість безперервного освітлення більше 12 годин на добу (пшениця, овес, льон, морква, цибуля та ін.);
- **фотоперіодично нейтральні рослини**, у яких розвиток генеративних органів настає за різної тривалості світлового дня (гречка, виноград, бузок і ін.).

Рослини довгого дня переважно вирощують у північних широтах, рослини короткого дня – в південних [25].

## 2.4 Волога

Вода – один із головних чинників розвитку рослин. Потреби рослин у воді визначаються зовнішніми умовами існування. За потребою у воді рослини поділяються на 4 групи:

I група. **Гідрофіти** – рослини, які ростуть та вільно плавають у воді або вкорінені на дні водоймищ (водяна лілія).

II група. **Гігрофіти** – суходольні рослини, життєвий цикл яких здійснюється в умовах достатнього водопостачання та високої вологості повітря. Найбільш типовими гігрофітами є рослини вологої і теплої атмосфери тропічних лісів (папороті, орхідеї), та світлолюбні рослини заболочених і перезволожених ґрунтів.

III група. **Ксерофіти** – рослини, які пристосувались до значної, постійної або тимчасової нестачі води в ґрунті або в повітрі за рахунок обмеження випаровування, збільшення постачання води із ґрунту, створення запасів води під час тривалої перерви у водопостачанні. Це можливо завдяки розгалуженій кореневій системі. Ксерофіти найбільш поширені в степах, пустелях та напівпустелях.

IV група. **Мезофіти** займають проміжне положення між гігрофітами та ксерофітами. Вони розповсюджені в помірно-вологих місцях. Ця група рослин найбільше поширена в помірному кліматі. До неї відносяться дерева, чагарники, лучні та лісові трав'янисті види, бур'яни та культурні рослини, ефемери та ефемероїди. Ефемероїди – рослини з надзвичайно коротким періодом вегетації (30 – 50) днів. Вони характерні для пустель, напівпустель та сухих степів.

Рослина впродовж всього періоду розвитку витрачає надземною частиною воду через транспірацію та випаровування. Поповнення тканин водою відбувається шляхом надходження її через коріння із ґрунту. Водний обмін рослин підтримується завдяки постійному притоку води, який знаходиться в рухливій рівновазі.



Рослина через коріння споживає воду до тих пір, поки сисна сила коріння може конкурувати із сисною силою ґрунту. Кількість надходження води в рослину залежить від розмірів сисної поверхні коріння, яка носить назву активної, від типу ґрунтів, концентрації клітинного соку, температури ґрунту і т. ін.

Активна поверхня коріння у трав'янистих сільськогосподарських культур становить приблизно  $1 \text{ см}^2 / \text{см}^3$ . Більшість рослин розвивають сисну силу  $1 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5$  Па. Деякі трав'янисті рослини помірної зони здатні збільшувати сисну силу свого коріння до  $40 \cdot 10^5$  Па. Зменшення води в ґрунті призводить до різкого зростання сисної сили [4].

Для витягнення води із теплого ґрунту необхідні менші сисні сили, ніж з холодного. При температурі ґрунту, близькій до  $0^\circ\text{C}$ , більша частина води в ґрунті замерзає і стає недоступною до поглинання.

В тканинах рослини вода рухається від клітин з більш високим водним потенціалом до клітин, які мають нижче значення водного потенціалу.

Вода випаровується із всієї зовнішньої і внутрішньої поверхні рослини, які стикаються з повітрям. З поверхні рослини водяна пара надходить в повітря, з яким вона стикається та у вільний простір. Переміщення водяної пари від випарних поверхонь рослини в напрямку вільного повітряного простору відбувається шляхом дифузії у відповідності із законом Фука. Тому і транспірацію можна розглядати як дифузійний процес: інтенсивність транспірації прямо пропорційна різниці між концентрацією водяної пари біля випарних поверхонь і вмістом водяної пари в атмосфері.

Транспірація відбувається через продиhi в тканині рослини (продихова **транспірація**) і залежить вона від кількості продиhiв в тканині рослини, розмірів продиhiв, їх розташування.

Ще є **кутикулярна** транспірація, коли молекули води дифундують через кутикулярні шари зовнішніх стінок епідермісу та через кутикулу.

**Перидермальна** транспірація відбувається через обкоровані стебла (стовбури, гілля).

Через продиховий апарат проходить і дифузія водяної пари і  $\text{CO}_2$ , ці процеси взаємозв'язані. Щоб отримати  $\text{CO}_2$ , рослини повинні віддати воду, а зменшення притоку води зменшує і надходження  $\text{CO}_2$ .

Відношення між витратами води і отриманою продукцією називається **транспіраційним коефіцієнтом** або, інакше, **продуктивністю транспірації**.

Потреба у воді на утворення одиниці сухої маси неоднакова у різних видів рослин і дуже сильно залежить від умов мешкання і густоти травостою (табл. 2.6).

Інтенсивність транспірації за достатньої зволоженості визначається метеорологічними умовами: інтенсивністю сонячної радіації,

температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю вітру, типом ґрунту та його водним потенціалом.

Інтенсивність транспірації має добре виражений денний хід з максимальними значеннями від 12 до 16 години. Причому, денний хід транспірації найбільш відчутний в перші дні після зволоження ґрунту, у подальшому збільшення тривалості періоду після зволоження ґрунту по мірі його висихання денний хід поступово згладжується і на десятий день добоий хід транспірації повністю згладжується.

Кожен вид рослин має свої особливості транспірації і свої потреби у воді. ***Потреба рослин у воді – це витрати води в польових умовах на транспірацію та випаровування з поверхні ґрунту за умови безперерійного постачання вологи до коріння рослин при визначених площах живлення, освітлення та агротехніки.***

Таблиця 2.6 – Середні витрати води на накопичення сухої речовини ( 1 г транспіраційної води на 1 г сухої речовини)

Трав'янисті рослини	Витрати води	Листяні дерева	Витрати води
Рис	680	Дуб	340
Жито	630	Береза	320
Овес	580	Бук	170
Пшениця	540	Хвойні дерева	
Ячмінь	520	Сосна	300
Люцерна	840	Модрина	260
Конюшина червона	640	Ялина	230
Картопля	640	Теплолюбні рослини	
Соняшник	600	Кукурудза	370
Кавун	580	Просо	300
Бавовна	570	Амарант	300

Окрім біологічних особливостей потреба рослин у воді залежить від умов навколишнього середовища, тривалості вегетаційного періоду. За даними А.М. Алпатьєва витрати води за добу відрізняються у різних рослин на 10 %, а витрати води за вегетаційний період - на 36 ... 43 % ( табл. 2.7) [17].

В умовах оптимального зволоження вологопотреба рослин дорівнює максимально можливому випаровуванню ( випаровуваності). Сумарне випаровування знаходиться в залежності від стану розвитку рослин, зволоження ґрунту та метеорологічних факторів. Максимально можливе випаровування (випаровуваність) визначається за допомогою випарника

ГГІ 3000, який встановлюється на метеорологічних майданчиках, або за допомогою ґрунтових випарників. Крім того, існує низка методів розрахунку випаровуваності, які в тій чи іншій мірі враховують значення метеорологічних величин. Відомі методи М.І Будико, Х.Л. Пенмана, формули яких засновуються на матеріалах спостережень за радіаційним та тепловим балансом; метод А.І Будаговського, в формулу якого вводиться додатковий коефіцієнт, що враховує вплив не лінійності між ступенем насиченості водяної пари і температурою випарної поверхні. В агрометеорології для розрахунків випаровуваності найчастіше використовуються методи А.М. Алпатьєва й М.М. Іванова [17].

Таблиця 2.7 – Вплив тривалості вегетаційного періоду рослин на витрати води ( за А.М. Алпатьєвим)

Культура	Тривалість вегетаційного періоду, дні	Витрати вологи, мм		Витрати вологи за добу, мм
		за весь період	в тому числі опади	
Овес – віка	67	182	92	2,7
Гречка	93	264	184	2,8
Ячмінь	97	264	187	2,7
Яра пшениця	101	271	187	2,7
Кукурудза	131	317	265	2,4
Цукрові буряки	154	407	305	2,6

Формула М.М.Іванова

$$E_o = 0,0006 ( 25 + t)^2 (100 - a) , \quad (2.5)$$

де  $E_o$  – випаровуваність, мм;

$t$  – середня температура повітря за декаду, °С;

$a$  – середня відносна вологість повітря за декаду, .

Формула А.М. Апатьєва

$$E_o = 0, 65 \sum d , \quad (2.6)$$

де  $\sum d$  – сума дефіцитів насичення повітря водяною парою за декаду.

Для сільськогосподарських рослин оптимальною вологістю вважається та, що забезпечує нормальні умови життєдіяльності ( в першу чергу, нормальне обводнення клітин). Верхня межа оптимального зволоження в зоні з глибоким заляганням ґрунтових вод близька до значення найменшої вологості (НВ).

В умовах глибокого залягання ґрунтових вод насичення ґрунту вологою більше 80 % від загальної пористості ґрунту шкідливо впливає на рослини через зменшення запасів повітря в ньому.

Різке зниження урожаїв часто спостерігається за вологості ґрунту вище 90 -100% повної вологомісткості, що відповідає запасам повітря в ґрунті 10-20 % від об'єму ґрунту.

Верхня межа оптимальної вологості ґрунту визначається вимогами рослин до аерації або максимально можливим в польових умовах ступенем насичення водою зони розміщення коріння.

Нижня межа оптимальної вологості знаходиться в межах вище вологості стійкого в'янення. А.М. Алпатьєвим визначені межі оптимальної вологості для різних рослин ( табл. 2.8). Нижня межа для різних польових культур коливається в межах 70 – 75 % , для овочевих - від 75 до 80% найменшої вологоємності. За вказаного ступеня насичення ґрунту вологою спостерігається високе обводнення клітин , що є необхідною умовою протікання процесів метаболізму культурних рослин.

Таблиця 2.8 – Оптимальна вологість для різних рослин  
(за А.М. Алпатьєвим)

Ґрунт	Культура	Нижня межа оптимальної вологості, % НВ	Періоди підтримки оптимальної вологості ґрунту
Сірозем важкосуглинковий	цукрові буряки	75 - 80	з червня по вересень
Чорнозем важкосуглинковий	цукрові буряки	75	з утворення 4-ї пари листків до середини серпня
Чорнозем суглинковий	яра пшениця	70 - 80	від кущіння до молочної стиглості
Чорнозем легкосуглинковий	яра пшениця	70 – 75	вихід у трубку – налив зерна
	томати	75	від початку цвітіння до плодоносіння
	огірки	80	весь період
	капуста	80	весь період
	люцерна на сіно яра пшениця	70-75 70-75	не вказано вихід у трубку – налив зерна

Встановлено, що потреба рослин у воді задовольняється повністю, якщо вологість важко суглинкових і глинистих ґрунтів становить не нижче 70 – 80% найменшої вологомісткості, легко – і середньосуглинкових – не менше 65 – 75 %, супіщаних – не нижче 50 – 60 %.

Режим споживання води рослинами різний за різних значень вологості ґрунту. Аналіз режиму валових витрат води рослинами по фазах розвитку показав, що впродовж вегетаційного періоду рослин є періоди, коли витрати води рослинами вищі, ніж випаровуваність.

Це вказує на біологічну особливість споживання води і пояснюється біологічними кривими споживання води. *Біологічні криві* споживання води являють собою ряд коефіцієнтів  $K$ , що змінюються в онтогенезі від декади до декади і розраховуються шляхом поділу валових витрат води ( $q$ ) за декаду або міжфазний період на суму дефіцитів насичення повітря водяною парою ( $\sum d$ )

$$K = q / \sum d. \quad (2.7)$$

Середні значення біологічних коефіцієнтів для різних культур, отриманих різними авторами наведені в табл. 2.9

Для розрахунків витрат води на випаровування за достатньої вологозабезпеченості та достатньої біологічної продуктивності фітоценозів суму середніх добових значень дефіцитів насичення повітря водяною парою за декаду (мм) необхідно помножити на коефіцієнт біологічної кривої випаровування, який відповідає тій самій декаді.

Таблиця 2.9 – Середні коефіцієнти біологічних кривих споживання води

Культура	Декада вегетації								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ячмінь	0,4- 0,6	0,54	0,60	0,66	0,71	0,77	0,73	0,66	0,64
картопля	0,3	0,4- 0,6	0,56	0,64	0,70	0,76	0,73	0,65	0,54
цукрові буряки	0,22	0,26	0,31	0,39	0,49	0,65	0,72	0,80	0,78
овочеві (томат, перць, баклажан)	0,41	0,47	0,60	0,73	0,81	0,82	0,79	0,65	0,56

Впродовж вегетаційного періоду вимоги рослин щодо забезпечення вологою неоднакові. В деякі періоди розвитку недостатня забезпеченість вологою призводить до різкого зменшення врожаю. Ці періоди П.І. Броунов назвав *критичними*. У різних рослин критичними бувають різні періоди розвитку ( табл. 2.10).

Ф.Д. Сказкін встановив, що у одних і тих сортів однієї і тієї ж рослини критичними можуть бути різні періоди, але нестача вологи в ґрунті найбільш несприятлива в період формування репродуктивних органів, тобто «... В період, коли в квітках , які утворюються, формується пилок, тобто в період від самого початку закладки тетрад до запліднення включно».

Таблиця 2.10 – Критичні періоди розвитку рослин по відношенню до вологи ( за Ф.Д. Сказкіним)

Культура	Критичний період
Озиме жито, озима пшениця, яра пшениця, овес, ярий ячмінь	Вихід у трубку – колосіння
Кукурудза	Викидання волоті – молочна стиглість
Просо, сорго	Викидання волоті – молочна стиглість
Зернобобові, гречка	Цвітіння
Соняшник	Утворення кошика – цвітіння
Картопля	Цвітіння і формування бульби
Томати	Цвітіння і утворення зав'язі
Перець, баклажани	Утворення пуп'янків – 20 днів після цвітіння

Л.О.Разумова розрахувала витрати води за різні відрізки періоду вегетації озимою пшеницею і встановила, що найбільші витрати вологи спостерігаються в період від колосіння до цвітіння ( табл. 2.11).

Дослідженнями багатьох авторів [18] встановлена чітка залежність урожаїв від запасів продуктивної вологи в критичні періоди розвитку. Для прикладу на рис. 2.5 наводиться залежність урожайності озимої пшениці від запасів продуктивної вологи за період від виходу у трубку до колосіння ( критичний період по відношенню до вологи).

Таблиця 2.11 – Витрати води озимою пшеницею  
(за Л.О. Разумовою)

Міжфазний період	Тривалість періоду, дні	Втрата води за період, мм	Витрати води за добу, мм
Відновлення вегетації – вихід у трубку	32	40	1,2
Вихід у трубку – колосіння	30	101	3,4
Колосіння – цвітіння	11	58	5,3
Цвітіння – молочна стиглість	10	26	2,6
Молочна стиглість – збирання	15	19	1,3

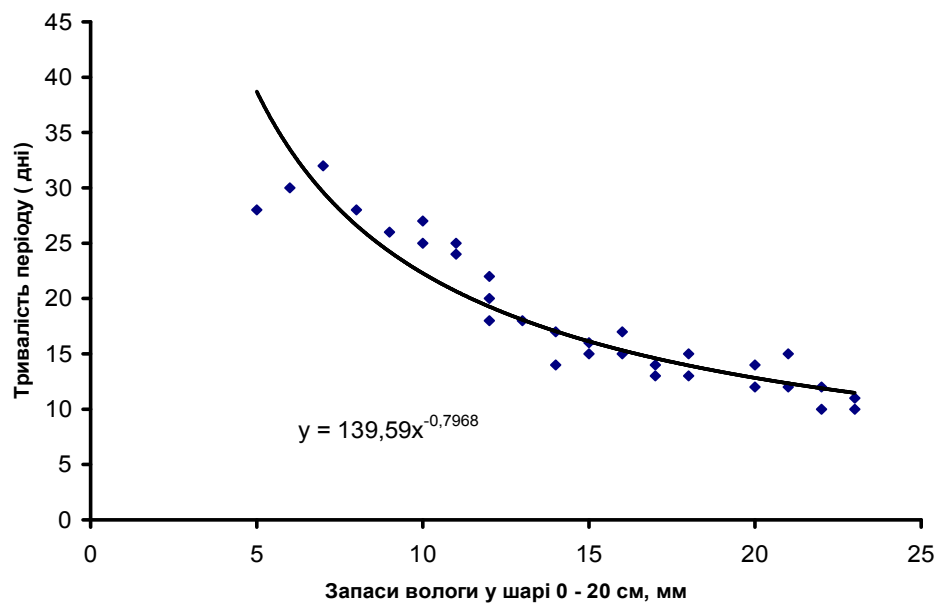


Рис. 2.5 - Залежність урожайності озимої пшениці від запасів продуктивної вологи за період від виходу у трубку до колосіння .

Дослідженнями Л.О. Разумової та О.Б. Мещанінової встановлено, що в умовах степу існує чітка залежність між величиною урожаю та кількістю спожитої рослинами води за вегетаційний період ( рис. 2.6).

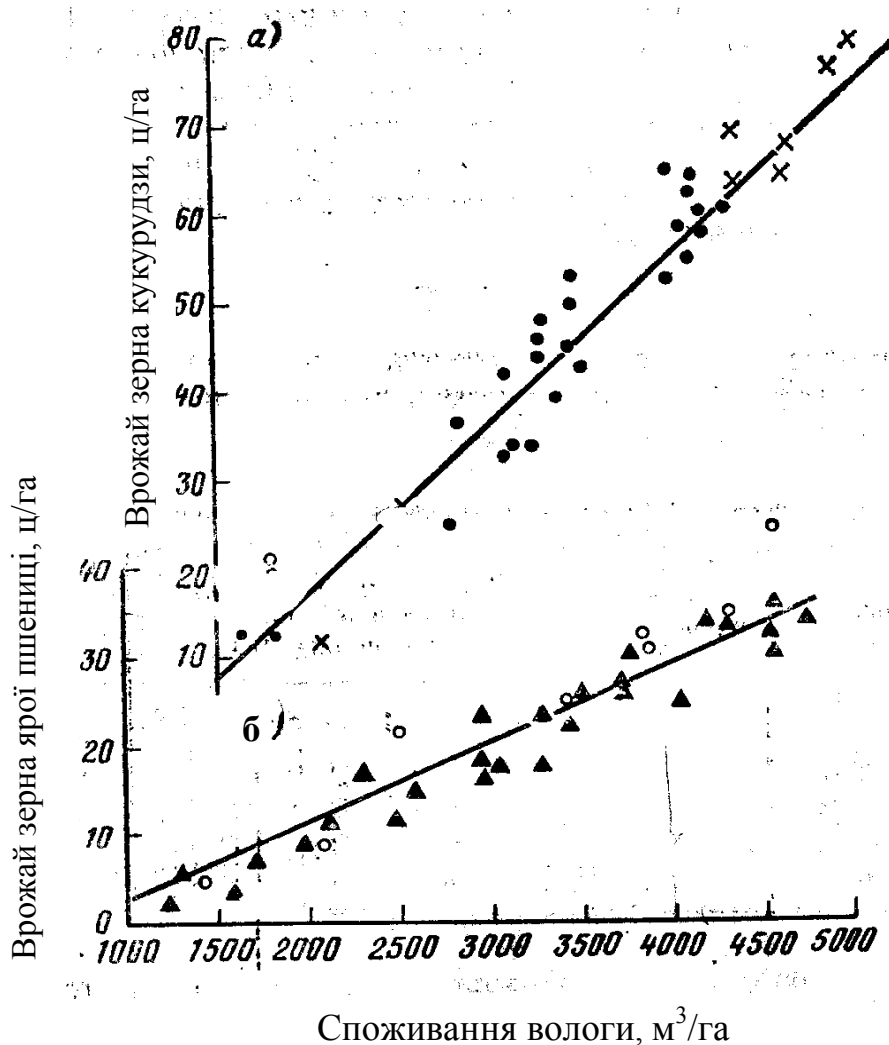


Рис.2.6 – Залежність врожаю ярої пшениці (а) і кукурудзи (б) (у) від споживання води за вегетаційний період (х).  
( за Л.О. Разумовою та Н.Б. Мещаніновою)

Ефективність використання води рослинами залежить від процесів газо- та водообміну на різних рівнях організації рослини, фізичних і хімічних властивостей ґрунтів, ступеня розповсюдження коріння в ґрунті, наявності легко доступної води в шарах ґрунту, обміну  $H_2O$  між атмосферою і ґрунтом, мікробіологічної активності і динаміки мінералізації, кількості, якості та термінів внесення мінеральних добрив і ін.



Ефективність використання води рослинами можна підвищити шляхом введення інтенсивної технології вирощування сільськогосподарських культур в засушливих зонах та підвищення густоти рослин в зонах помірного клімату.

Продуктивність сільськогосподарських культур залежить від вологозабезпеченості посівів. Як відомо, для життя рослин та формування їх урожаїв необхідні чотири головні фактори: світло, тепло, волога та поживні речовини. Найбільш мінливими як у часі, так і по території є тепло і волога. Їх нестачею або надмірною кількістю пояснюються значні коливання урожаїв.

В посушливих районах та районах нестійкого зволоження ґрунту фактором, що визначає умови зростання та формування врожаїв сільськогосподарських культур, є забезпеченість посівів вологою, тому що тепла у цих районах достатньо.

Оцінкою вологозабезпеченості посівів займались багато дослідників: О.В. Процеров, О.С. Конторщикова, О.М. Конторщикова [18] та ін. Це дозволило розробити цілу низку методів для виконання оцінки вологозабезпеченості сільськогосподарських культур в районах недостатнього та нестійкого зволоження.

**Вологозабезпеченість посівів – це міра забезпечення потреб рослин у воді в природних умовах.** Вона може бути виражена через запаси продуктивної вологи у відсотках від найменшої вологомісткості, у відсотках від середніх багаторічних запасів продуктивної вологи, через суму опадів у відсотках від середньої багаторічної, у відносних одиницях через відношення випаровування до випаровуваності, а також у відсотках через ті ж величини.

Розрахунок вологозабезпеченості ( $V$ ) за сумарним випаровуванням та дефіцитом насичення повітря водяною парою виконується практично для всіх сільськогосподарських культур як відношення фактичного сумарного випаровування ( $E_{\phi}$ ) з поля, зайнятого культурою, до сумарного випаровування при оптимальних умовах зволоження ( $E_o$ )

$$V = \frac{E_{\phi}}{E_o} \cdot 100. \quad (2.8)$$

За сумарне випаровування при оптимальних умовах зволоження (потреба рослин у воді) береться випаровуваність, розрахована будь яким методом.

При виконанні розрахунків фактичне сумарне випаровування ( $E_{\phi}$ ) визначається за спрощеною формулою водного балансу

$$E_{\phi} = (W_1 + x) - W_2, \quad (2.9)$$

де  $W_1$  та  $W_2$  – запаси продуктивної вологи відповідно на кінець попередньої та початок поточної декади;

$x$  – сума опадів за декаду.

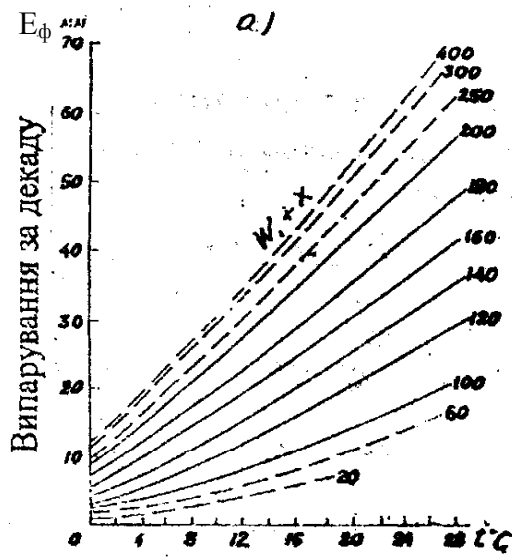
Випаровування в оптимальних умовах зволоження – випаровуваність можна розраховувати за будь-яким методом. В агрометеорології найчастіше використовується метод А.М. Алпатьєва (формула 2.6). Він запропонував випаровуваність ( $E_o$ ) розраховувати через сумарний дефіцит насичення повітря ( $d$ ) з врахуванням коефіцієнтів біологічної кривої водоспоживання ( $K$ ).

О.В. Процеров встановив, що в період від сходів до колосіння для зернових культур значення коефіцієнта біологічної кривої становить 0,6, після колосіння до воскової стиглості – 0,4.

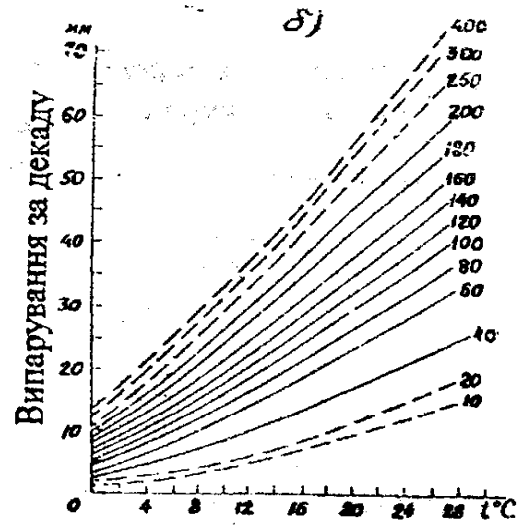
Таким чином, потреба зернових культур у волозі в будь-яку декаду вегетації буде дорівнювати сумі дефіцитів насичення повітря, помноженій на 0,6, якщо значення дефіциту насичення виражено у мм, та 0,45, якщо – у мілібарах, тобто у період від колосіння до воскової стиглості  $E_o = 0,4 \cdot \Sigma d$  або  $E_o = 0,6 \cdot \Sigma d$ .

Були побудовані графіки для визначення очікуваних запасів продуктивної вологи та сумарного випаровування для трьох періодів вегетації: сівба – вихід у трубку, вихід у трубку – цвітіння, цвітіння – воскова стиглість (рис. 2.7 а, б, в). За цими рисунками одночасно визначаються запаси продуктивної вологи на кінець декади та сумарне випаровування. На рис.2.7 на осі абсцис - значення температури повітря,  $t$  °С. На осі ординат – сумарне випаровування, ( $E_{\phi}$ ) мм; у полі графіка криві, які відповідають сумі запасів вологи на початок декади і опадів за декаду, ( $W + x$ ), мм.

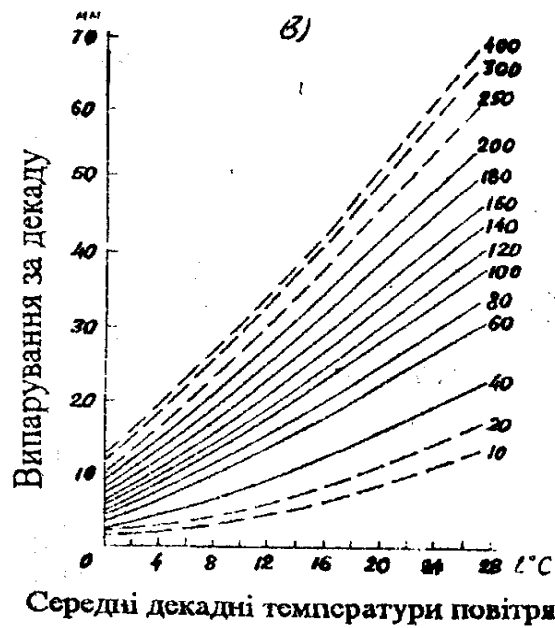
С.О. Веріго розрахувала оцінку агрометеорологічних умов формування врожаю в залежності від забезпечення рослин вологою (рис. 2.8).



Середні декадні температури повітря



Середні декадні температури повітря



Середні декадні температури повітря

Рис. 2.7 – Сумарне випаровування за декаду ( $E_{\phi}$ ) на полях ярої пшениці в залежності від початкових запасів продуктивної вологи ( $W_1$ ), опадів за декаду ( $x$ ) та середньої температури повітря ( $t$ ):

- а) від сівби до виходу у трубку;
- б) після виходу у трубку до колосіння;
- в) після колосіння до воскової стиглості

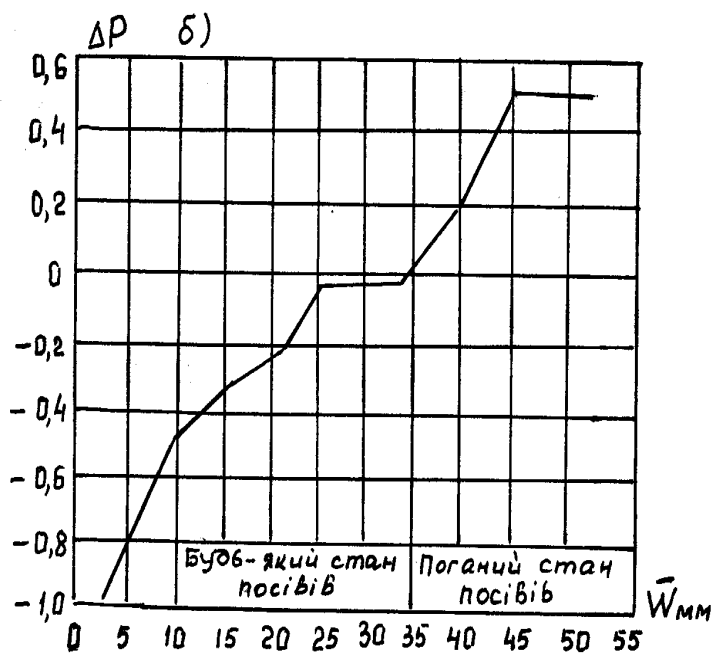
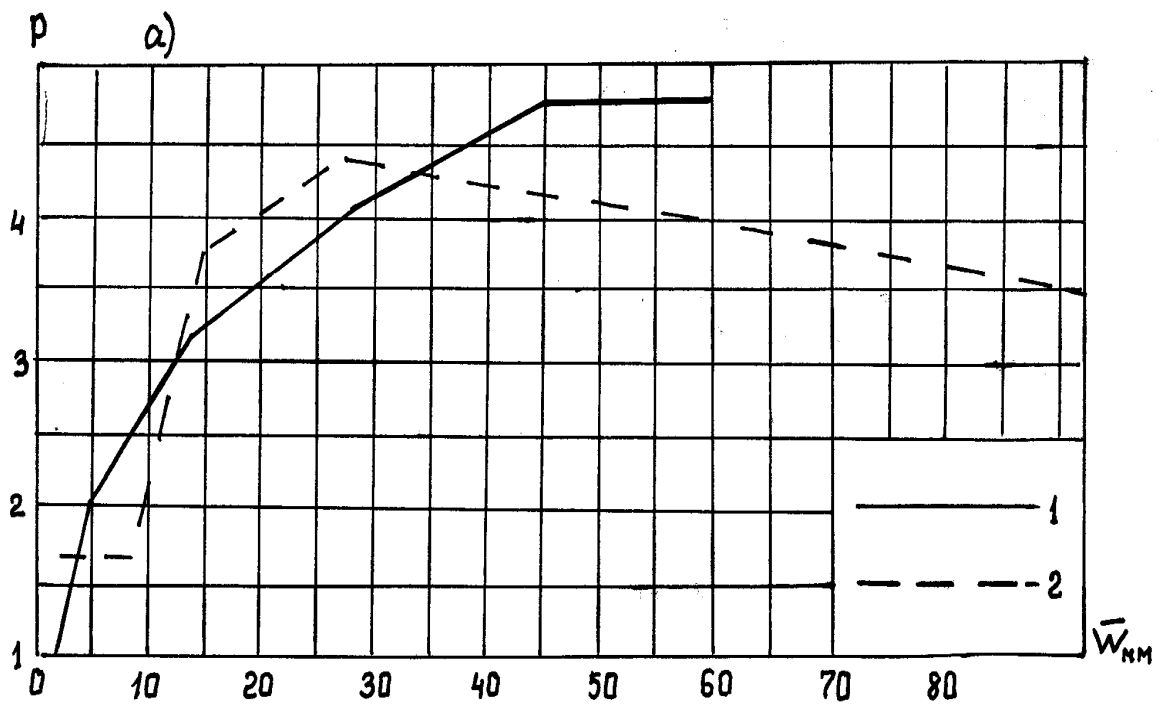


Рис. 2.8 – Відносна оцінка посівів ярої пшениці ( $P$ ) та її зміна ( $\Delta P$ ) в залежності від забезпеченості вологою. В зоні:  
 а) недостатнього зволоження,  
 б) в зоні надмірного зволоження

## 2.5 Агрометеорологічні умови і вуглецевий обмін рослин

Вуглецевий обмін клітин зв'язаний із зовнішнім середовищем через газообмін. Для дихання рослини вживають кисень, для фотосинтезу хлоропласти вживають  $CO_2$ .

Газообмін між клітинами і навколишнім середовищем відбувається шляхом дифузії. Найважливішим регулятором процесу дифузії є продиховий апарат.

Для газообміну рослин можна застосувати закон Фіка, формулу якого вивів П. Гаастра

$$F = C / \sum r, \quad (2.10)$$

де  $C$  – градієнт концентрації між зовнішнім середовищем і місцем реакції в клітині;

$\sum r$  - сума дифузійного опору.

Швидкість надходження  $CO_2$  до клітини визначається швидкістю його переробки. Опір продихів залежить від їх кількості та розмірів, інтенсивності ФАР, концентрації  $CO_2$ , водного дефіциту листя, температури листка, швидкості вітру, вологості повітря, водного режиму ґрунту, вмісту поживних речовин. Тому і опір продихів змінюється в широких межах. Дифузійний опір у сільськогосподарських рослин менше, ніж у дикорослих. Найбільший опір спостерігається у тіншовитривалих рослин [12,16].

Процес фотосинтезу в листках поділяється на два етапи: дифузія молекул  $CO_2$  із повітря до центру карбоксилорування в клітині та біохімічний цикл фотосинтезу.

Формула П. Гаастра в розгорнутому вигляді буде

$$\Phi_L = C_o - C_{cl} / \sum r, \quad (2.11)$$

де  $C_o$  та  $C_{cl}$  – концентрація  $CO_2$  (г  $CO_2^3$ ) відповідно у зовнішньому повітрі та біля хлоропластів.

Ступінь відкриття продихів і зв'язаний з ним продиховий опір залежать від змін, які відбуваються в зовнішньому середовищі і внутрішньому стані рослин. Із зовнішнього середовища найбільш впливовими є світло, температура та вологість повітря, вологість ґрунту.

Світло сприяє ширшому відкриттю прдихів, особливо при доброму зволоженні.

Температура повітря впливає на швидкість розкриття продихів. За більш високої температури клітини мають значно більшу кількість енергії. При зниженні температури зменшується швидкість відкриття продихів.

Ширина продохів збільшується із збільшенням тургору крайових клітин. Якщо тургор падає, продих закривається. Встановлено, що продиховий опір має пряму залежність від градієнта парційного тиску водяної пари між листком і повітрям.

Взаємозв'язки впливу елементів навколишнього середовища на продиховий опір досить складні і вони змінюються за зміни будь – якого елемента.

Газообмін рослини змінюється із зміною її віку. Молоді рослини дихають інтенсивніше від старих.

На шляху розвитку рослини змінюється і їх фотосинтетична здатність. Зміна інтенсивності фотосинтезу і дихання органів в залежності від фізіологічного віку рослин описується онтогенетичними кривими фотосинтезу [15,16].

На фотосинтез впливає ціла низка факторів. Оскільки фотосинтез є фотохімічним процесом, то на нього впливають умови освітленості. При збільшенні освітлення збільшується поглинання  $CO_2$ , спочатку пропорційно потім уповільнюється до максимальної величини.

Температура повітря змінює швидкість хімічних реакцій і активність різних ферментів. Залежність газообміну від температури визначається різницею між швидкостями фотохімічного засвоєння  $CO_2$  та процесів дихання за однієї і тієї ж температури. Підвищення температури до оптимальних значень підсилює фотосинтез, після досягнення оптимума – гальмує. За оптимальні температури фотосинтезу вважаються ті температури, за яких фотосинтез становить 90% максимальної величини. Межі оптимальних температур різні для різних рослин. У вищих рослин фотосинтез припиняється за умов зниження температури повітря до  $-1\text{ }^\circ\text{C}$ . Верхня межа фотосинтезу обмежується тепловою точкою компенсації ( $50 - 60\text{ }^\circ\text{C}$ ).

У листяних рослин водний дефіцит діє на продихи, звуження яких зменшує газообмін.

В природних умовах фактори зовнішнього середовища діють на всі процеси, які відбуваються в рослинах, сумісно. Тому і газообмін відображує взаємодію всіх внутрішніх і зовнішніх факторів.

Для продуктивності і конкурентної здатності будь-якого виду рослин важливо знати середню величину ефективного поглинання  $CO_2$ . При визначенні середньої величини поглинання  $CO_2$  необхідно враховувати кількість органів молодого віку, тривалість їх життя, кількість тканин, які живляться за рахунок листя.

В цілому добовий баланс  $CO_2$   $F_c(L_o)$  складається із денного виходу фотосинтезу всіх фотосинтезуючих органів фітоценозу  $\Phi_c(L_o)$  за мінусом сумарного дихання всіх органів рослини  $R_c(L_o)$

$$F_c(L_o) = \Phi_c(L_o) - R_c(L_o). \quad (2.12)$$

Баланс газообміну може визначатись в грамах або кілограмах  $CO_2$  на одну рослину за день або за рік.

## 2.6 Агрометеорологічні умови і обмін мінеральних речовин

Дефіцит елементів живлення в ґрунті негативно впливає на формування урожайності сільськогосподарських культур. Нестача елементів живлення спричиняє різкі коливання урожайності із року в рік. Дослідження В.О. Захарченко показали як впливає внесення мінеральних добрив на урожай зернових культур (табл. 2.12)

Таблиця 2.12 - Внесення мінеральних добрив і середня урожайність зернових (за В.О. Захарченко, 2003)

Відрізки часу (роки)	Внесено NPK, кг/га	Середня урожайність, ц/га	Коливання урожайності, ц/га
1971 – 1975	45	13,7	6,7
1976 – 1980	65	14,8	5,6
1981 – 1985	83	14,0	5,1
1986 – 1990	99	17,4	4,5
1991 – 1995	36	14,8	5,6
1996 – 2000	16	13,0	7,1
2001 – 2004	18	18,0	2,0

Відзначається, що щорічне винесення поживних речовин із ґрунту внаслідок господарської діяльності в 5 разів перевищує повернення їх із внесеними мінеральними і органічними речовинами. Внаслідок чого в землеробстві на сьогодні склалось вкрай несприятливе співвідношення і від'ємний баланс поживних речовин [7].

Кореляція величини урожаїв сільськогосподарських культур із кількістю внесених добрив досить висока.

Однією з умов досягнення високої інтенсивності сільськогосподарського виробництва є забезпечення ґрунту необхідною кількістю поживних речовин.

*Макро- і мікроелементи в житті рослинного організму.* Для повноцінного живлення рослини використовують більшість із відомих хімічних елементів. Найважливіші із них 20—25 елементів, такі як азот,

фосфор, калій, магній, цинк та ін. Азот, як основа життя, є складовою багатьох органічних сполук: амінокислот, амідів, білків, нуклеїнових кислот та їхніх похідних, алкалоїдів, хлорофілу, регуляторів росту, ферментів тощо. У складі сухої речовини рослин його міститься від 1,5 до 5%. Як нестача, так і надлишок азоту в ґрунті призводять до зниження продуктивності культури та погіршення якості врожаю. Він може реутилізуватися, відтікати із раніше утворених частин рослини у молоді, активніші органи. Тому нестача його насамперед проявляється на стані листків, які закінчили ріст. При цьому сповільнюється ріст стебла, листків і коренів. Пожовтіння листків (особливо нижніх) через розклад хлорофілу переходить у побуріння тканин та їх засихання, а ознаки передаються на подальший ярус. У злаків укорочується суцвіття (колос зверху, волоть знизу) і зменшується зернистість колосу. Формується щупле, ненаповнене зерно. Характерне пожовтіння нижніх листків кукурудзи починається з верхнього кінчика листка, продовжується вздовж центральної жилки, причому краї листка деякий час залишаються зеленими. Оптимальне азотне живлення культури дає можливість максимально реалізувати потенціал сорту й одержати високоякісну продукцію.

*Фосфор* входить до складу нуклеїнових кислот, нуклеопротеїдів, фосфатидів, сахарофосфатів, фітину та лецитину, тобто сполук, що відповідають за спадковість та перенесення генетичної інформації, беруть участь у процесах дихання, біосинтезі складних вуглеводів і перебігу фотосинтезу. Цей елемент — складова багатьох макроергічних сполук, таких як АТФ, АДФ та аденозинмонофосфат-АМФ, що є джерелами енергії в рослинному організмі.

У молодих рослинах фосфор легко переміщується із старих тканин у молодші, а при дозріванні більша частина засвоєного фосфору нагромаджується в насінні та плодах. Свідченням цього може бути наявність фосфору в складі золи насіння зернових і зернобобових культур у межах 40—45 %, соломи — в 3—5 разів менше. Кількість органічних сполук у рослинах різко переважає над мінеральними (в середньому 89% від загального фосфору). Цей елемент мало впливає на нагромадження білка у рослинах. У той же час достатнє фосфорне живлення збільшує частку генеративних органів у загальній біомасі врожаю, підвищує вміст крохмалю у продукції та цукру в коренеплодах, фруктах і овочах. Поліпшується також якість волокна у луб'яних культур. Дефіцит фосфору починає проявлятися з нижніх листків. Вони мають зелений колір із блакитним відтінком (за достатньої кількості азоту), але між жилками з'являються бурі плями, які зливаються, і листок повністю засихає. Часто на стеблі та листі утворюється фіолетово-червоний відтінок, а краї



листяних пластинок загинаються догори. В цілому рослини відстають у рості й сповільнюється онтогенез.

*Калій* не входить до складу органічних сполук рослин. Він знаходиться в іонній формі. Цей елемент концентрується у цитоплазмі та вакуолях і відсутній в ядрі. До 20% калію утримується у клітинах в обмінно-поглинутому стані колоїдами цитоплазми, до 1% необмінно поглинають мітохондрії, а основна частина (до 80%) знаходиться в клітинному соку і легко вимивається водою. В золі насіння зернових і зернобобових культур його міститься 30-40%, бульб картоплі та коренеплодів буряків до 40-60 %, а у листках більшості культур – 30-50%. Слід зазначити, що в молодих частинах окремих органів рослини калію значно більше, ніж у старих. Він впливає на гідратацію колоїдів цитоплазми, що допомагає краще утримувати воду і переносити посуху, підвищує зимо- та морозостійкість рослин і стійкість проти грибкових та вірусних захворювань.

Калій посилює синтез високомолекулярних вуглеводів (целюлоза, геміцелюлоза, пектинові речовини, ксилани), що зумовлює потовщення клітинних стінок соломини злаків і підвищення стійкості до вилягання, а в коноплі та льону поліпшується якість волокна. Під впливом калію посилюється нагромадження крохмалю у бульбах картоплі, сахарози в коренеплодах буряків і цукрів у плодах та овочах. Дефіцит калію порушує метаболізм у рослинах: ослаблюється діяльність деяких ферментів, погіршується вуглецево-білковий обмін, збільшуються втрати цукрів на дихання, що призводить до утворення щуплого зерна, зниження схожості та життєздатності насіння. Недостатнє калійне живлення призводить до збільшення грибкових захворювань і погіршення лежкості, а також може з'являтися “крайовий опік” нижніх листків. При хронічному калійному голодуванні призупиняється ріст стебел та міжвузлів, затримується дозрівання зерна і плодів.

*Бор* посилює ріст пилкових трубочок та проростання пилку, збільшуючи кількість квіток і плодів, поліпшує вуглеводний обмін та бере участь у білковому і нуклеїновому синтезі. Вважається, що основна фізіологічна роль цього елемента — регулювання кількості ауксинів та фенольних сполук. При його дефіциті порушується весь цикл обміну вуглеводів, формування репродуктивних органів, запилення та плодоношення. Особливо чутливі до бору дводольні. У них при його дефіциті нагромаджуються феноли, ауксини й порушуються нуклеїновий обмін і синтез білка.

Середній вміст бору в рослинах досягає 0,0001%. Як надлишок, так і дефіцит його у ґрунті призводить до значних втрат врожаю, погіршення

його якості та лежкості продукції, можуть викликати захворювання тварин і людей. За нестачі бору в рослин пшениці формується дрібний колос із сухим “прапорцевим” листком; кукурудза набуває зовнішніх ознак, подібних до тих що проявляються при калійному голодуванні; в овочевих культур на нижніх листках з'являється "крайовий опік", потім листки деформуються і висихають. Дефіцит цього елемента проявляється на підзолистих ґрунтах та тих, на яких проведено вапнування повними нормами. Основними негативними наслідками борного голодування є відмирання точок росту, зниження крохмалистості бульб картоплі та цукристості коренеплодів цукрових буряків, погіршення якості волокна луб'яних культур. Нестача бору стимулює інтенсивний розвиток хвороб: парші картоплі, гнилі сердечка і сухої гнилі у коренеплодів, кореневої гнилі капусти, засихання верхівок тютюну, дуплистості турнепсу, відмирання точки росту соняшнику.

Фізіологічна роль міді значною мірою визначається її кількістю в складі білків та ферментів (до 50% загального вмісту міді у листках знаходиться в складі білка пластоціаніну). Вона посилює зв'язування молекулярного азоту з атмосфери, засвоєння азоту із ґрунту та добрив, нагромадження білків, знижує інтенсивність розпаду хлорофілу, дію на ріст високих доз рiстактивуючих речовин; підвищує здатність рослин протистояти виляганню, їхню посухо- морозо- та жаростійкість. Наявність міді може погіршувати товарний вигляд картоплі та овочів внаслідок окислення мідьвмісного ферменту тирозінази. Дефіцит міді затримує ріст і цвітіння рослин, викликає хлороз, втрату тургору. У злаків при гострій її нестачі біліють кінчики листків і не розвивається колос (хвороба “біла чума”), а в плодів проявляється суховершинність. Використання мідьвмісних добрив ефективніше на осушених торф'яниках, дерново-глейових, заболочених та легких ґрунтах. Найчутливіші до внесення міді злакові культури, трави, льон, коноплі, коренеплоди, соняшник і буряки. Потреба в міді зростає при застосуванні високих доз азотних добрив.

*Марганець* як високоактивний метал бере участь у реакціях біологічного окислення, фотосинтезі, відновленні гідроксиламіну до аміаку, перетворенні ди- і трикарбонових кислот при диханні, синтезі вітаміну С, поглинанні іонів із навколишнього середовища. Тому марганець відповідає за нагромадження та відтік цукрів у рослинному організмі, підвищуючи цукристість плодів і овочів, сприяє синтезу глютаміну, прискорює розвиток рослин та їхнє плодоношення. При дефіциті марганцю спостерігаються хлорози і плямистість листків, а при гострій його нестачі — повна відсутність плодоношення у редису, капусти, помідорів, гороху. Насамперед марганець слід вносити на сірих опідзолених ґрунтах, слабовилугованих чорноземах, солонцюватих і

каштанових ґрунтах. Особливо чутливі до його нестачі злаки, коренеплоди, картопля, трави. Так, приріст урожаю цукрових буряків при застосуванні марганцевих добрив у середньому становить 100—150 ц/га, а цукристість підвищується на 0,2—0,6%.

*Цинк* бере участь у фізіологічних процесах. За рахунок стабілізації дихання при зміні температурних умов підвищує жаро- та морозостійкість рослин, впливає на утилізацію фосфору в тканинах, активізує реакції утворення попередників хлорофілу. За його нестачі у рослині знижується вміст ауксинів, сахарози та крохмалю, підвищується рівень органічних кислот, порушується синтез білків — у тканинах нагромаджуються небілкові розчинні сполуки азоту (аміди та амінокислоти), які можуть порушувати технологічні процеси при переробці сировини ("шкідливий" азот в цукроварінні). Дуже чутливі до нестачі цинку плодови, особливо цитрусові, гречка, буряки, картопля, хміль, конюшина. Для них характерне гальмування росту. Нестача цинку може проявлятися як на кислих, дуже опідзолених легких ґрунтах, так і на карбонатних чорноземах, бурих і сіроземах. Ці процеси посилює застосування високих доз фосфорних добрив.

*Молібдену* рослинам потрібно менше, ніж бору, марганцю, цинку та міді. В основному він локалізується у молодих частинах рослин. Цей елемент входить до складу нітратредуктази і бере участь у відновленні нітратів до нітритів та нітрогенази — ферменту, що відповідає за зв'язування азоту атмосфери при біологічній фіксації. Крім того, цей елемент задіяний у фотосинтезі, процесах дихання, біосинтезі нуклеїнових кислот, вітамінів і пігментів. Тому поряд із підвищенням урожайності він сприяє зростанню вмісту білка в продукції. Зовнішні прояви нестачі молібдену подібні до азотного голодування. Вона найчастіше проявляється на дерново-підзолистих, сірих опідзолених, чорноземних та осушених кислих торф'яниках. Ефективне застосування цього елемента під усі бобові культури, особливо на кислих ґрунтах.

*Агротехніка* — це технологія землеробства, система засобів обробітку сільськогосподарських культур. Вона включає в себе такі головні заходи: обробіток ґрунту, внесення добрив, підготовку насіння до сівби, визначення оптимальних норм сівби, сівбу та посадку, догляд за посівами, збирання врожаю. Також снігозатримання, боротьбу з бур'янами, хворобами та шкідниками сільськогосподарських рослин та інші роботи.

Розчинені у воді поживні речовини пересуваються з дифузійним потоком як у ґрунтовому розчині, так і в адсорбованій формі, завдяки поверхневій дифузії та конвекції ґрунтового розчину, яка зумовлюється транспірацією, випаровуванням та інфільтрацією.

Із ґрунтового розчину іони поживних солей попадають у паренхіму кори коріння шляхом дифузії та з надходженням води. Цей процес пасивний і він зумовлюється градієнтами концентрації та електричних зарядів між ґрунтовим розчином і внутрішньою стороною коріння.

Розчинені речовини абсорбуються поверхнею коріння зі швидкістю, яка визначається їх концентрацією в ґрунтовому розчині біля кореня, поглинальною здатністю коріння і його розмірами.

За даними О.І. Коровіна підвищення температури в зоні коріння до 30 °С сприяє підвищенню швидкості поглинання поживних речовин. Подальше підвищення температури вже спричиняє зменшення цієї швидкості [5].

Слід зазначити, що вплив температури неоднаковий на поглинання окремих елементів. Найбільше впливає підвищення температури на швидкість поглинання калію. Азот інтенсивно поглинається при температурі 10...15 °С. Сірка при підвищенні температури поглинається повільніше. Дослідження А.І. Коровіна показали, що оптимальною для поглинання всіх елементів є температура в зоні коріння 20...25 °С.

Вологість ґрунту перш за все впливає на абсорбцію розчинних речовин цілими рослинами. Встановлено, що в сухому ґрунті за слабкої конвенції, малої поглинальної здатності коріння і зменшення дифузії, поглинання зменшується.

Нестача мінерального живлення обмежує синтез органічної речовини.

Ефективність добрив визначається складним комплексом умов: родючістю ґрунту, біологічними особливостями сільськогосподарських культур, їх сортів та гібридів, агротехнікою, засобами, термінами, кількістю та якістю внесених добрив, кліматичними та погодними умовами.

З агрометеорологічного боку умови погоди впливають як на кількість доступних речовин у ґрунті, так і на дію добрив на рослини. До агрометеорологічних факторів, які визначають ефективність добрив, відносять рівень світлового живлення рослин, температуру та вологість повітря і ґрунту.

Згідно з Ф.М.Куперман, продуктивність рослин є функцією відповідності рівнів світлового та мінерального живлення [17]. Чим більше рівень світлового живлення, тим більше при нормальному забезпеченні вологою синтезується вуглеводів у рослинах та тим більше азоту вони спроможні вживати. Світло впливає на азотне живлення не тільки через фотосинтетичні процеси, але й через транспірацію. В свою чергу транспірація, яка істотно впливає на транспортування рухомих мінеральних речовин, крім сонячної радіації, визначається вологістю та температурою повітря. При підвищенні вологості повітря рослини менш чутливі до зростання концентрації поживного розчину.

Температурний режим визначає накопичення рухомих речовин у ґрунті. Температура впливає на швидкість руху води та сольових розчинів, тобто на темпи надходження поживних речовин в рослини з ґрунту. За невеликих температур (8-10<sup>0</sup>С) зменшується надходження азоту в коріння та пересування його в надземні органи, послаблюється редукція поглинених нітратів та використання азоту на утворення органічних сполук. За більш низьких температур (5-6 <sup>0</sup>С та нижче) поглинення корінням азоту та фосфору різко знижується [6]. Оптимальна температура для надходження азоту та фосфору в рослини знаходиться в межах 23-25<sup>0</sup>С.

Зростання дефіциту насичення повітря на 1 мбар у травні спричиняє зниження ефективності добрив у середньому на 0,4 ц/га.

Рівень забезпечення вологою ґрунту впливає на доступ поживних речовин у ґрунті, на використання їх рослинами. При значному дефіциті води у ґрунті добрива не дають позитивного ефекту та можуть негативно впливати на формування врожаю.

В кліматичному аспекті зменшення кількості опадів на 100 мм за рік від північних районів Європейської території СНД до південних спричиняє зменшення ефективності помірних доз добрив в середньому на 1,1 ц/га зерна, а для озимих культур в цілому на 1,0 ц/га. Зниження запасів продуктивної ґрунтової вологи за період вегетації зернових культур на 10 мм впливає на зменшення ефективності добрив в середньому на 0,1 - 0,3 ц/га.

Надмірне зволоження порушує волого-повітряний режим ґрунту й тому знижує процес нітрифікації, зменшує надходження в рослини азоту та внесених добрив, сприяє накопиченню токсичних речовин.

Принципова схема зв'язку ефективності добрив з вологістю ґрунту та його середньою об'ємною вагою представлена на рис.2.9.

Параметри структури та щільності ґрунту досить добре відображають умови життя рослин: комплекс фізико-хімічних властивостей ґрунту, доступність вологи, газообмін та біологічні процеси. Ефективність добрив відчутно збільшується із зростанням вологості до 90% найменшої вологості (НВ) в ґрунті менш щільного складу ( $Q = 1,2 - 1,3 \text{ г/см}^3$ ) й до 80% найменшої вологості на більш щільному ґрунті. Подальше зростання вологості ґрунту до 100-130% НВ приводить до незначного зниження ефективності у нещільному мінеральному ґрунті та різке – у підзолистому ґрунті.

Зв'язок ефективності добрив для зернових культур з вологозапасами ґрунту має параболічний характер (рис.2.10).

Найбільша ефективність добрив відзначається при вологозапасах ґрунту в середньому 80-90% НВ. Нижчий чи вищий рівень зволоження зменшує ефективність добрив.

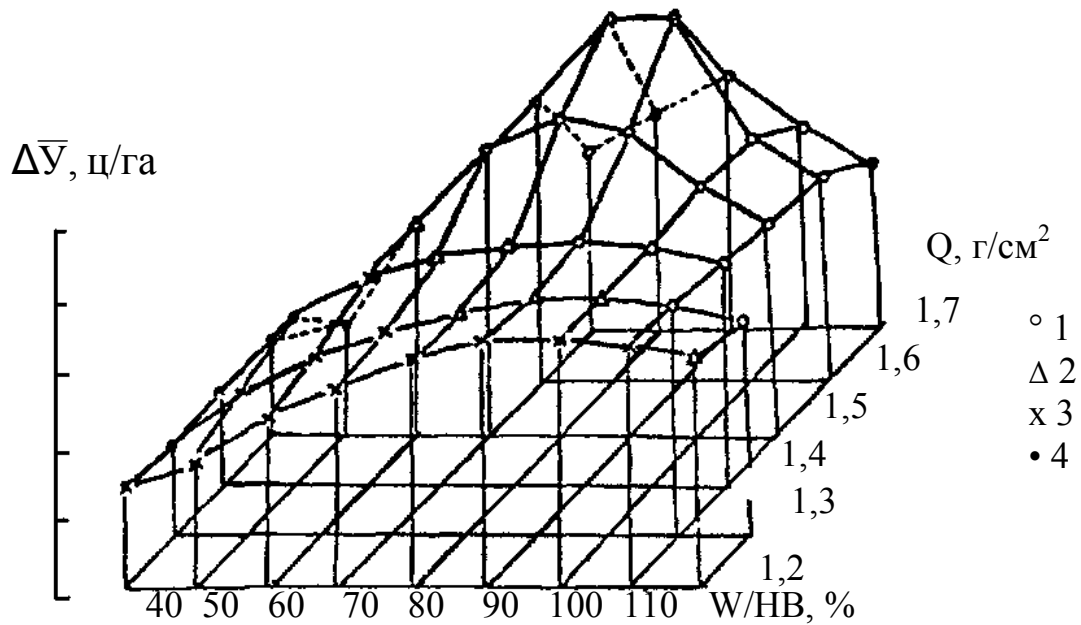


Рис. 2.9 - Схематична модель зв'язку ефективності добрив ( $NPK = 120 - 180$ ) із запасами води в ґрунті (% НВ) в період вегетації зернових культур та середньою об'ємною вагою шару ґрунту 0-100 см

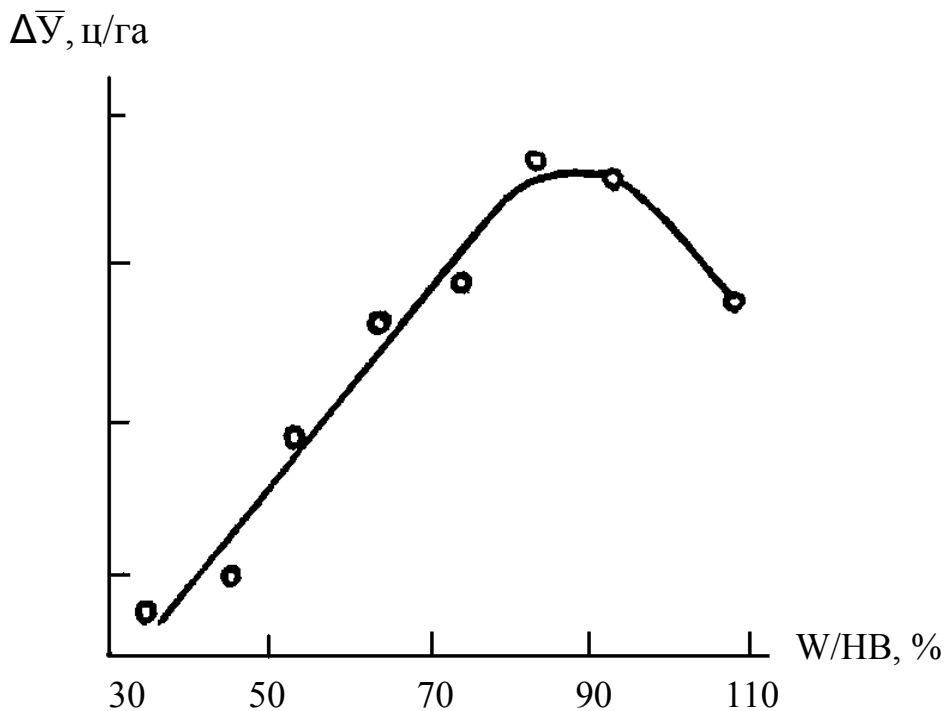


Рис.2.10 – Залежність ефективності  $NPK$  від запасів продуктивної води метрового шару ґрунту за вегетаційний період зернових культур (%НВ).

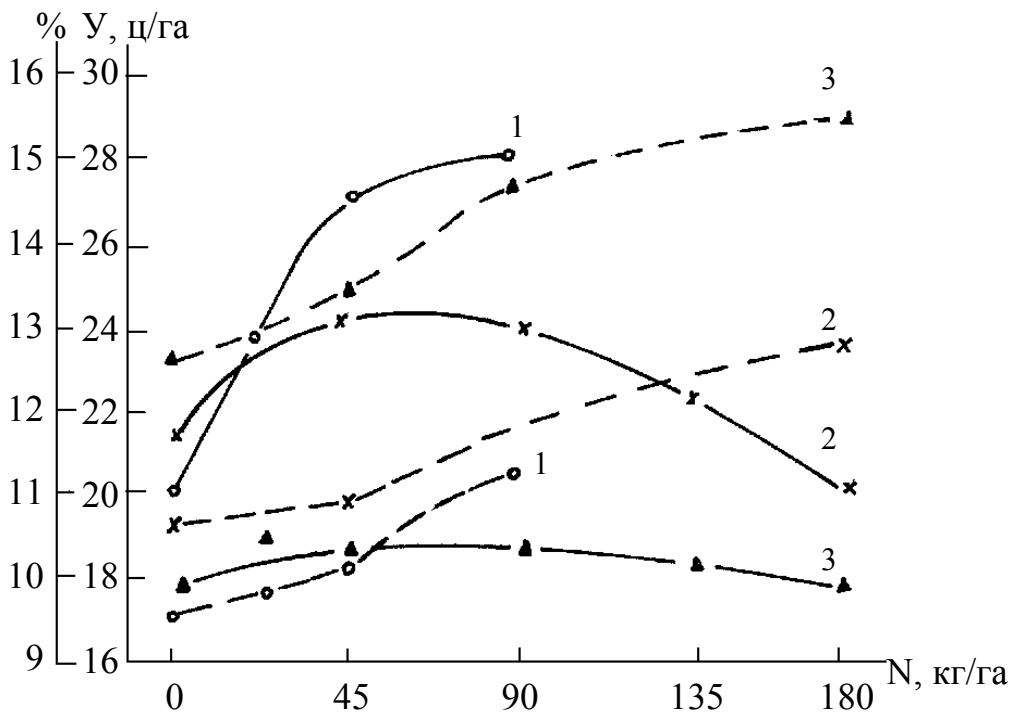


Рис. 2.11 – Вплив азотних добрив на врожай (а) та вміст білку (б) в зерні озимої пшениці у вологий (1), помірно-вологій (2) та засушливий роки (3).

Внесення різних доз азотних добрив впливає не тільки на збільшення абсолютної маси, але й на вміст білка у зерні. Вплив азотних добрив на врожай та білковість пшениці у різні за вологістю роки наводиться на рис.2.11. Вміст білка в зерні із зростанням дози азотних добрив зростає в усі роки. Найбільший вміст білка в сухі роки.

У табл.2.13 наводиться ефективність добрив у зв'язку з умовами зволоження травня-липня [1].

Правильне застосування добрив послаблює вплив несприятливих погодних умов на врожай. Застосування добрив зменшує також негативний вплив на врожай низьких температур, заморозків та інших несприятливих метеорологічних явищ.

Добрива підвищують стійкість озимих культур до несприятливих умов зимівлі. Рослини розвивають більш міцну кореневу систему, більше накопичують сухих речовин, цукру та інших органічних сполучк, які ослаблюють дію несприятливих метеорологічних умов зимового періоду.

В цілому зв'язок ефективності добрив з метеорологічними факторами характеризується такими коефіцієнтами кореляції (табл.2.14).

За дослідями О.І.Коровіна, [6] оцінку ефективності добрив як функції метеорологічних факторів та окремих агрохімічних властивостей ґрунту можна виконати на базі таких рівнянь регресії:

1) середня ефективність помірних доз добрив для озимих зернових культур

$$\Delta y = 0,0142P + 1,835Q - 0,46d - 1,407; R = 0,83; S_y = \pm 1,13 \text{ ц/га}, \quad (2.13)$$

2) середня ефективність помірних доз добрив для ярих зернових культур

$$\Delta y = 0,0047P + 0,0065Q + 1,0W/НВ - 0,24t - 0,00083\Sigma t + 7,71, \quad (2.14)$$

де  $\Delta y$  – середня багаторічна ефективність добрив, ц/га;

$P$  – кількість опадів, мм;

$W$  – середні за вегетаційний період запаси вологи у ґрунті, мм;

$d$  – середній дефіцит насичення повітря за вегетаційний період, мб;

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

$\Sigma t$  – сума негативних температур повітря за зиму,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q$  – об'ємна вага метровою шару ґрунту,  $\text{г/см}^3$ .

Таблиця 2.13 – Середня ефективність *NPK* для нечорноземної зони у зв'язку з умовами травня - липня

Зволоження	Середня кількість опадів, мм		Середній дефіцит насичення повітря, мб		Середній приріст врожаю від <i>NPK</i> , ц/га					
	за найбільш				озима пшениця		озиме жито		ранні ярі колосові	
	вологий місяць	сухий місяць	вологий місяць	сухий місяць	суглинки	супіски	суглинки	супіски	суглинки	супіски
нормальне	80	40	5,6	6,8	8,7	8,1	7,9	7,6	8,3	7,2
недостатнє	75	20	6,2	8,7	4,4	-	4,1	5,0	4,1	4,1
надмірне	125	50	5,2	6,2	5,2	9,7	5,2	5,9	6,0	7,0



Таблиця 2.14 – Коефіцієнти кореляції між ефективністю середніх норм мінеральних добрив по зонах та метеорологічними факторами

З о н а	Метеорологічні фактори				
	Опади, мм	Вологість ґрунту, мм	Температура повітря, °С	Дефіцит насичення повітря, мм	Комплекс погодно-кліматичних умов
Нечорноземна	0,20-0,50	0,30-0,53	0,20-0,25	0,40-0,46	0,50-0,81
Чорноземна	0,30-0,78	0,60-0,70	0,30-0,40	0,30-0,50	0,60-0,86

Ефективність добрив та континентальність клімату. Було встановлено, що при просуванні на південний схід та схід в межах Європейської частини СНД у зв'язку з посиленням континентальності клімату ефективність добрив зменшується. На Азіатській території СНД зниження дії добрив спостерігається із сходу на захід [5].

В кліматології континентальність клімату розглядається як сукупність характерних особливостей клімату, які формуються під впливом материка. До цих особливостей відносяться: зростання у порівнянні з океанічними районами річних та добових амплітуд температур і відносної вологості повітря, зменшення опадів при збільшенні їх нерівномірності, зменшення відносної вологості повітря та хмарності влітку та вдень, зменшення швидкості вітру та ін.

Кількісно континентальність клімату характеризується величинами річної амплітуди температури повітря, повторністю вторгнення континентальних і морських повітряних мас та іншими показниками.

Частіше для розрахунку показника континентальності клімату використовуються вирази

$$\kappa = \frac{A_q - 5,4 \sin \varphi}{A_q} \quad (\text{за С.П.Хромовим}) \quad (2.15)$$

або

$$\kappa = \frac{A_q + A_q + 0,25d_o}{0,36\varphi + 14} \quad (\text{за М.М.Івановим}), \quad (2.16)$$

де  $A_q$  – річна амплітуда температури, °С;

$A_q$  – добова амплітуда температури,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $d_o$  – нестача насичення вологості повітря у найсухіший місяць, мб;  
 $\varphi$  – широта місцевості.

Зв'язок ефективності добрив з континентальністю клімату для Європейської частини СНД має вигляд

$$\begin{aligned}
 \Delta y = & 0,0036 P_{\text{IV-X}} + 0,02 P_{\text{XI-III}} + 0,055(W/\text{НВ}) + 6,29 e_{\text{V-VII}} + \\
 & + 0,217 e_{\text{V-VII}}^2 + 46,48 KL + 0,099 V - 0,059 S - 0,061 P_o N + 76,04 ; \quad (2.17) \\
 R = & 0,87; S_y = \pm 1,24,
 \end{aligned}$$

де  $\Delta y$  – середня багаторічна ефективність добрив під зерновими культурами, ц/га;  
 $P$  – кількість опадів у різні періоди року, мм;  
 $W/\text{НВ}$  – відношення середніх за вегетаційний період запасів продуктивної вологи до найменшої вологості ґрунту, %;  
 $e$  – абсолютна вологість повітря, мб;  
 $V$  – міра насиченості ґрунту основами, %;  
 $S$  – сума поглинених основ, (мг на 100 г);  
 $KL$  – вміст калію в ґрунті, (мг на 100 г);  
 $P_o N$  – вміст рухомого фосфору в ґрунті (мг на 100 г).

Для нечорноземної зони коефіцієнт континентальності клімату становить 0,800-0,830, для чорноземної зони – 0,840-0,880.

Фосфорно-калійні добрива завжди вносять під озимі зернові восени перед оранкою. Азотні добрива восени вносять тільки у районах з сухим осінньо-зимовим періодом. У районах з великою кількістю опадів внесення азотних добрив переноситься на весну. Ефективність весняних підживлень азотними добривами залежить від типу погоди. Помірна та надмірна дощова погода зумовлює більшу ефективність підживлення навесні та влітку, аніж суха погода.

Схема визначення ефективності азотних добрив та збільшення врожаю при їх внесенні розроблена О.П. Федосєєвим (табл. 2.15 та 2.16) [23].

На ефективність підживлень азотом значною мірою впливають умови перезимівлі рослин. За сприятливих умов перезимівлі ефективність підживлень у 2-3 рази вища ніж після холодних (вимерзання) або теплих (випрівання) зим.

Таблиця 2.15 – Середнє збільшення врожаю ( $\Delta u$ ) озимої пшениці та ймовірність успішності внесення азотних добрив (30-80 кг/га діючої речовини – д.р.)

Зона, Район	$\Delta u$ , ц/га		Ймовірність, %		
	голове внесення	весняне підживлення	переважність головного внесення	переважність весняного підживлення	рівно- значність заходів
<u>Європейська частина СНД</u>					
Нечорноземна	5,3	6,8	18	48	34
Чорноземна	4,2	3,2	42	23	35
Республіки Балтії	4,0	4,8	27	44	29
Білорусь	5,9	10,1	8	75	17
Нечорнозем'я Центр	6,9	7,7	17	49	34
Нечорнозем'я Північний схід	4,4	4,6	19	26	55

Таблиця 2.16 – Ефективність азотних добрив (N 30-80 кг/га д.р. для фону РК) під озимі культури навесні

*Нечорноземна зона*

Умови перезимівлі	Сприятливі	Вимерзання	Випрівання
Приріст врожаю, $\Delta u$ , ц/га	6,5	2,8	2,3

Від строків весняного підживлення азотом озимих культур значно залежить їх ефективність.

Зовнішнє підживлення озимих культур азотом завжди виконується в ранні строки, одразу ж після сходу снігу на початку вегетації культур. Дуже раннє підживлення призводить до великих втрат азоту через

вимивання з кореневого шару внутрішнім ґрунтовим стоком, а також до газообмінних витрат. Найбільш значне підвищення врожаїв озимої пшениці спостерігається, якщо азотне підживлення проводиться у період відновлення вегетації. Розрахована ймовірність відновлення вегетації в нечорноземній зоні (табл.2.17).

Таблиця 2.17 – Ймовірність (%) настання дат відновлення вегетації озимих зернових культур (по п'ятиденках)

Середня дата відновлення вегетації	Ймовірність, %											
	Березень			Квітень						Травень		
	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3
30.IV					4	4	7	9	29	19	19	9
25.IV					7	3	29	11	34	8	8	–
20.IV				4	9	18	27	18	14	9	2	–
15.IV			4	8	19	16	28	14	9	2	–	–
10.IV		4	10	11	23	26	20	3	3	–	–	–
5.IV		5	8	23	22	12	15	15	–	–	–	–

Від сходу стійкого снігового покриву до відновлення вегетації озимих у нечорноземній зоні проходить 10-20 днів і накопичується сума позитивних температур 35-55<sup>0</sup>С.

Вищеописані дослідження [23] погоди дають можливість визначити найсприятливіші строки початку азотного підживлення озимих культур в умовах кожного року.

Друге підживлення озимих зернових культур найкраще проводити у фазу виходу рослин у трубку.

При визначенні оптимальних доз азотних добрив для весняного підживлення озимих враховуються опади за осінній (з серпня до переходу температури повітря через 5<sup>0</sup>С) та зимовий періоди (з наступної декади після переходу температури повітря через 5<sup>0</sup>С восени до січня або ранньої весни).

Оскільки строки настання весняної вегетації, тобто весняного підживлення рослин, значно відрізняються по різних зонах СНД, то період врахування опадів за холодну пору року неоднаковий.

За графіками 2.12, а,б та 2.13 можна розрахувати дози добрив.

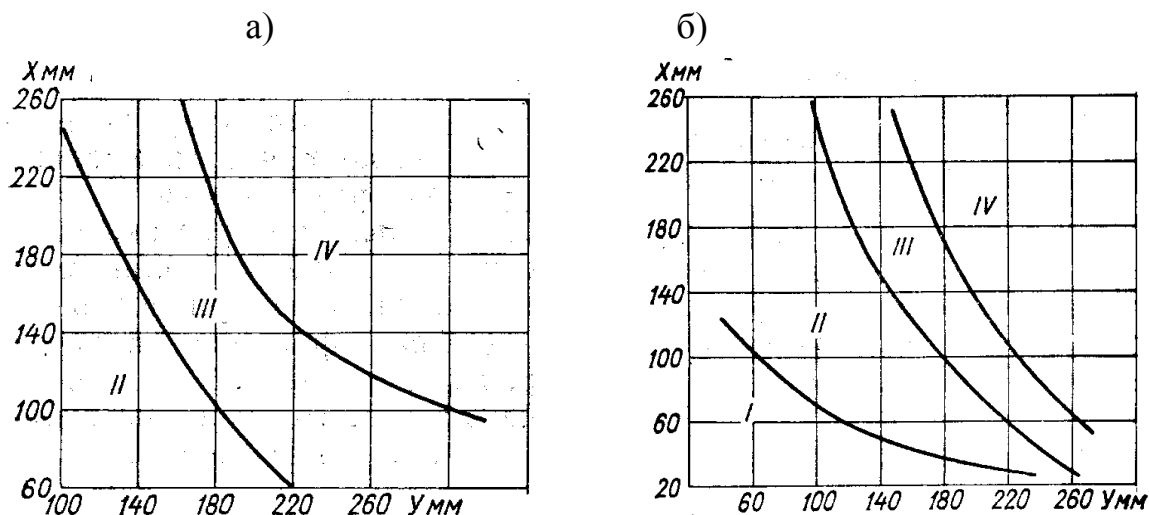


Рис. 2.12 – Поправки до встановлених доз азотних добрив (по фону  $P_{40-80}K_{40-80}$ ) під ранні ярі культури в залежності від кількості опадів за осінньо-зимовий період по непарових попередниках;

а) Нечорноземна зона ЄЧ СНД; б) Чорноземна зона ЄЧ СНД; I-ша зона – низька ефективність; II-а зона нижче норми на 40 – 50 %; III-я зона розрахована доза; IV-а зона – вище норми на 40 – 60 %.

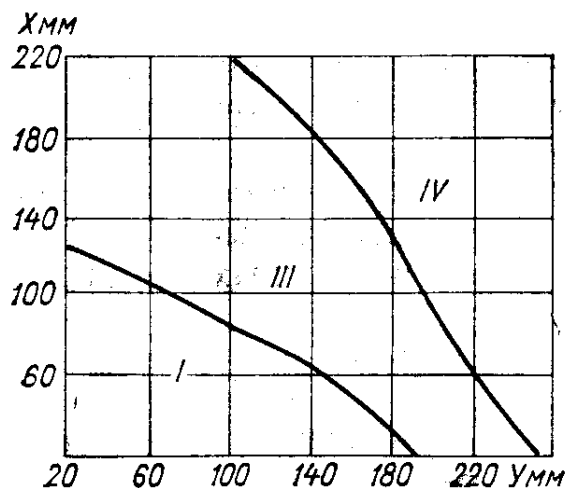


Рис. 2.13 – Поправки до встановлених норм весняного азотного живлення озимих культур в залежності від кількості опадів за осінньо-зимовий період. Посушлива зона Південного сходу Росії.

У нечорноземних районах Європейської частини СНД з переважно дерново-опідзоленими та сірими лісними ґрунтами опади враховуються за період від 1-го серпня до 1-ої весняної декади з середньою температурою

повітря  $5^{\circ}\text{C}$ . У лісостепових і степових районах з вилуженими, типовими, звичайними і південними чорноземами опади підраховуються включно до січня. О.П.Федосєєвим побудовані графіки (рис.2.14,а,б,в,г) розрахунку доз раннього весняного підживлення азотом. Різні поєднання осінніх та зимових опадів утворюють чотири зони (I–IV).

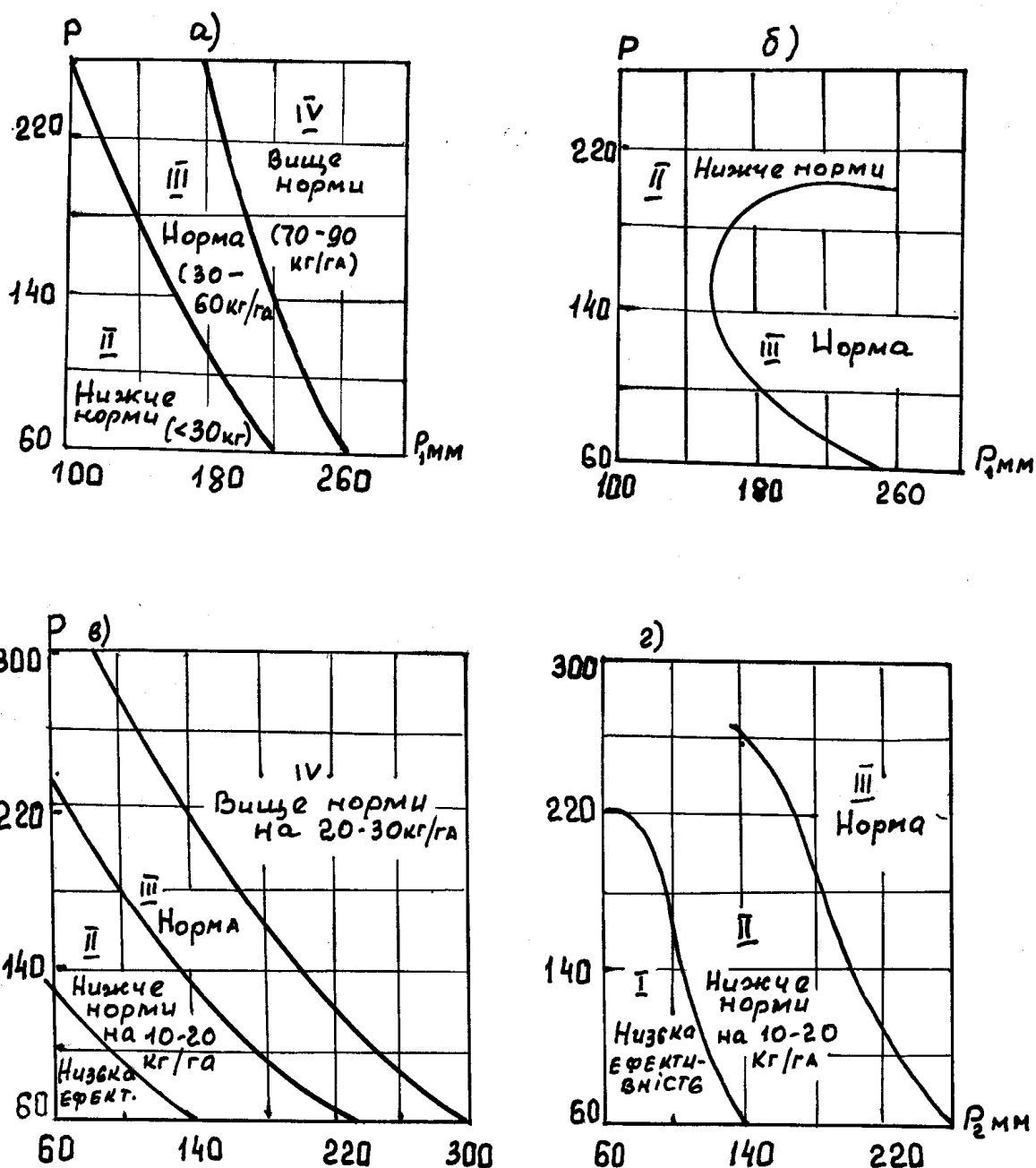


Рис.2.14.— Поправки до встановлених доз весняного підживлення азотом озимих зернових культур:

- а, б – нечорноземна зона: а) по зайнятих парах і непарових попередниках;
- б) по чистих парах;
- в, г – чорноземна зона: в) по зайнятих парах і непарових попередниках;
- г) по чистих парах.

Кількість опадів восени відкладається на вертикальній осі графіків, а зимові та весняні опади – на горизонтальній. Точка перетину цих значень опадів буває в тій чи іншій зоні графіка і визначає оптимальну дозу азотних добрив на 1 га.

Зона III відображає умови зволоження, за яких треба вносити середні дози азотних добрив. Це проводиться у господарствах з врахуванням попередників, агрохімічних властивостей ґрунту, стану посівів і т.д. для запланованого врожаю. Якщо значення осінніх та зимових опадів попадають у зону III, то поправка до встановлених доз на зволоження не вноситься.

Якщо ж точка перетину попадає в II-гу зону, то пропонується зменшити дозу азоту, встановлену з урахуванням агрохімічних та агрономічних умов. Якщо точка перетину попадає у IV зону, то дозу азоту збільшують, але не вище верхньої межі дози, визначеної для врожаю певного рівня. Якщо ж опадів зовсім мало, то весняне підживлення азотом не ефективно.

В залежності від умов зволоження весняне підживлення на зайнятих парах та непарових попередниках доцільне у всі роки тільки північніше лінії Житомир – Гомель – Брянськ – Казань; на території України та ЦЧО – у 80-90% років, зменшуючись на південний схід до 30-40% років.

Змінюються також дози весняного підживлення азотом на чистих парах та полях з органічними добривами. Вони зменшуються в середньому на 20% в залежності від зволоження ґрунту.

Таким чином, пропозиції щодо проведення весняного азотного підживлення озимих культур повинні чітко диференціюватись в залежності від ґрунтово-кліматичних умов, а дози їх щорічного внесення корегувались з врахуванням зволоження.

О.П.Федосєєвим та З.А.Шостак [23] встановлено, що літнє підживлення рослин азотом збільшує врожай на 2,6-4,6 ц/га, а вміст протеїну в зерні – на 1,5-3,5%.

Пізнє підживлення проводять сухими легко розчинними азотними туками або їх розчинами. Підживлення сухими туками називають кореневим, а розчинами туків – зовнікореневим підживленням.

Азотний обмін представляє собою єдиний кругообіг речовин, який проходить через надземні органи та коріння. Синтетичні процеси у корінні рослин інтенсивно проходять тільки при оптимальному їх водопостачанні. В умовах підвищеної (90% повної вологоємності) та зниженої (40%) вологозабезпеченості рослин синтез органічних азотних сполук уповільнюється [6].

Дослідами та багаторічною практикою встановлено, що підживлення сухими туками для підвищення вмісту білка у зерні пшениці треба проводити у період колосіння-цвітіння, зовнікореневе в період колосіння-

молочна стиглість. Літнє підживлення проводять карбамідом (сечовиною) або аміачною селітрою.

Оскільки азот сухих туків попадає в зону діяльності коріння з водою, то ефективність пізнього підживлення пов'язують з опадами, які випадають до підживлення і після нього впродовж 10-15 діб. Добру оцінку залежності ефективності літнього підживлення від умов погоди дає рівняння:

$$\Delta\Pi = -0,63\sqrt[3]{x_1} + 0,20 \ln x_2 + 1,5; \quad (2.18)$$

$$R = 0,722; S_{\Delta\Pi} = \pm 0,47,$$

де  $\Delta\Pi$  – підвищення вмісту протеїну, %;

$x_1$  – кількість днів від дати підживлення до дощу інтенсивністю більше 5 мм (бездощовий період);

$x_2$  – сума опадів, які випали протягом 30 днів до підживлення, мм.

Аналіз матеріалів показав, що величина приросту протеїну залежить від вологості ґрунту в шарі 0-20 см, яка визначається у відсотках найменшої вологоємності (НВ). Якщо запаси вологи ( $W_{0-20}$ ) менше 10 мм або більше 90% НВ, підживлення не доцільне, а інколи навіть шкідливе. Якщо ж  $W_{0-20}$  у день підживлення становить 20-50% НВ, то ефективність його залежить від опадів та строків їх випадання. Вологість ґрунту 50-80% забезпечує приріст протеїну на 1% і більше. Залежність приросту протеїну від вологості ґрунту у період літнього підживлення описується рівнянням

$$\Delta\Pi = 0,058x - 0,000005x^3 - 0,55; R=0,76; S_{\Delta\Pi} = \pm 0,06, \quad (2.19)$$

де  $x$  - вологість ґрунту  $W_{0-20}$  см у час підживлення, % НВ.

## 2.7 Практичні заняття

**2.7.1** Визначити тісноту зв'язку тривалості міжфазного періоду з середньою температурою:

- розрахувати коефіцієнт кореляції;
- середнє квадратичне відхилення.

Розрахунки виконувати в табл. 2.17



Таблиця 2.17– Розрахунок зв'язку тривалості міжфазного періоду ( $n$ ) з середньою температурою повітря

№п.п	$t$	$n$	$\lg t=t_1$	$\lg n=n_1$	$\Delta t_1 = t_1 - \bar{t}_1$	$\Delta n_1 = n_1 - \bar{n}_1$	$\Delta t_1^2$	$\Delta n_1^2$	$(t_1 - \bar{t}_1) \times (n_1 - \bar{n}_1)$	$(t_1 - \bar{t}_1) + (n_1 - \bar{n}_1)$	$[(t_1 - \bar{t}_1) + (n_1 - \bar{n}_1)]^2$
1	7,6	28									
2	7,7	26									
3	7,0	25									
4	7,4	25									
5	7,2	24									
6	7,7	24									
7	7,3	23									
8	7,7	23									
9	7,7	22									
10	7,2	22									
.	.	.									
.	.	.									
56	12,1	11									
57	13,0	10									
58	13,0	9									
59	12,9	8									
60	13,3	8									
61	14,0	10									
62	13,9	7									
63	15,0	10									
64	15,0	8									
65	16,1	8									
66	17,0	8									
Σ66	12,9	14									

**2.7.2** Визначити суму активних і ефективних температур за між фазний період від колосіння до воскової стиглості озимої пшениці. Розрахунки виконувати в табл. 2.18.

Загальна кількість тепла, яка необхідна для проходження окремих міжфазних періодів і вегетації в цілому, оцінюється сумою температур ( $\sum t$ ). Цей показник є комплексним (інтегральним), оскільки вміщує в собі середній рівень температури ( $\bar{t}$ ) і тривалість її впливу ( $n$ ).

Відрізняють суми активних і ефективних температур.

Сума активних температур за будь-який період (декада, місяць, рік) може бути визначена з виразу:

$$\sum t_{abh} = \bar{t} \cdot n \quad (2.20)$$

де  $\bar{t}$  – середньодобова активна температура повітря за період,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $n$  – кількість днів у періоді.

Сума ефективних температур за цей же період знаходиться з виразу:

$$\sum t_{ef} = (\bar{t} - B) \cdot n, \quad (2.21)$$

де  $B$  – біологічний мінімум температури,  $^{\circ}\text{C}$ .

Оскільки біологічний мінімум різних культур неоднаковий, то і ефективна температура при одній і тій же середній добовій температурі неоднакова для різних культур.

Для розрахунку сум активних і ефективних температур найчастіше застосовується метод, заснований на визначенні параметрів рівняння прямої:

$$y = B \cdot n + A, \quad (2.22)$$

де  $y$  – сума активних температур,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $B$  – біологічний мінімум розвитку,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $n$  – тривалість періоду;  $A$  – сума ефективних температур,  $^{\circ}\text{C}$ .

Температура, при якій не спостерігається прискорення розвитку рослин, називається баластною.

Таблиця 2.18 – Озима пшениця , Безоста 1

Станція: Фастів

Дата коло- сіння	Температура повітря, °С							Сума активних і ефективних температур, °С	Дата воскової стиглості
	Травень	Червень			Липень				
	3	1	2	3	1	2	3		
20.V	13,5	16,7	16,9	19,3	19,0	20,1	21,1	акт . ефект.	28,06

**2.7.3** Розрахувати середню ефективність добрив для озимої пшениці й ячменю на ст.Одеса:

а) **Озима пшениця** : сівба - 14.IX; сходи - 28.IX; 3-й лист - 8.X; кущіння - 17.X; припинення вегетації - 20.XI; відновлення вегетації - 26.III; вихід в трубку - 23.IV; колосіння - 25.V; цвітіння - 1.IV; молочна стиглість - 16.VI; воскова стиглість - 28.VI; повна - 2.VII.

Сума опадів за рік ( $P_{рік}$ ) становить 350мм. Сума опадів за вегетаційний період ( $P_{IV-X}$ ) – 267мм;  $P_{XI-III}$  – 150мм. Об'ємна вага метрового шару ґрунту ( $Q$ ) – 15,1 г/см<sup>3</sup>. Найменша вологоємність (НВ) – 160,3 мм.

Середня багаторічна дата сівби озимої пшениці припадає на 14 вересня; дата повної стиглості – на 2 липня. Дати припинення вегетації – 29 листопада, відновлення вегетації – 26 березня.

Середній дефіцит насичення повітря за вегетаційний період ( $d$ ) складає 6,9мб. Запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту ( $W_{0-100}$ ) становлять за вегетаційний період 93,3 мм.

Середня температура повітря з травня до липня ( $t$ ) складає 18,7°С, сума негативних температур за зиму ( $\Sigma t$ ) – 197,3°С.

б) **Ячмінь** : сівба - 28.III; сходи - 15.IV; 3-й лист – 24.IV; кущіння - 1.V; вихід в трубку - 15.V; колосіння - 5.VI; цвітіння - 12.VI; молочна стиглість - 22.VI; воскова стиглість - 2.VII.  $S = 2150$ ;  $P_oN=194$ ;  $KL = 0,279$ ;  $V=2,23$ .

### 3. АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ І ФОРМУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТА ЯКОСТІ УРОЖАЮ

#### 3.1 Загальна характеристика продуктивного процесу

Продуктивний процес рослин (ППР) – це сукупність окремих взаємопов'язаних процесів, головними з яких є фотосинтез, дихання і ріст.

ППР залежить від умов навколишнього середовища і сам змінює його через архітектуру, газообмін і транспірацію фітоценозу.

Рослини під впливом сонячної енергії та поглинання  $CO_2$  з повітря і води з ґрунту в процесі фотосинтезу створюють органічну речовину у вигляді асимілятів – це перший процес. Одночасно з цим відбувається транспірація, яка відповідає за постачання води рослинам, елементів мінерального живлення та за регуляцію теплового режиму рослин. Інтенсивність процесу фотосинтезу залежить від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР), водного і температурного режимів, швидкості вітру, концентрації  $CO_2$  в повітрі, родючості ґрунту та видових особливостей рослин.

Другий процес – дихання – забезпечує енергією різні біохімічні процеси синтезу, які пов'язані з ростом, будовою нових структурних елементів рослин і транспортом речовин, а також підтримки живих структур органів рослин.

Третій процес – ріст. Фотосинтез і ріст розглядаються як паралельні та сумісні процеси. Необхідною умовою росту є енергетичне забезпечення ростової функції [15,16,17].

Ріст – це основна складова продуктивного процесу, який супроводжується збільшенням маси і розмірів органів, органелл і живого організму в цілому. Загальна схема продуктивного процесу представлена на рис. 3.1.

Найбільш елементарний чинник росту фітомаси – приріст ( $\Delta M$ ), який визначається як залишок між сухою фітомасою ( $M_1$  та  $M_2$ ) за визначений відрізок часу:

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

Але приріст сухої фітомаси не є вичерпною характеристикою при оцінці росту органів рослин через те, що він не враховує хімічний склад фітомаси. Приріст сухої ітомаси відбувається за якийсь проміжок часу тому відзначають абсолютну швидкість росту

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

та відносний приріст

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

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

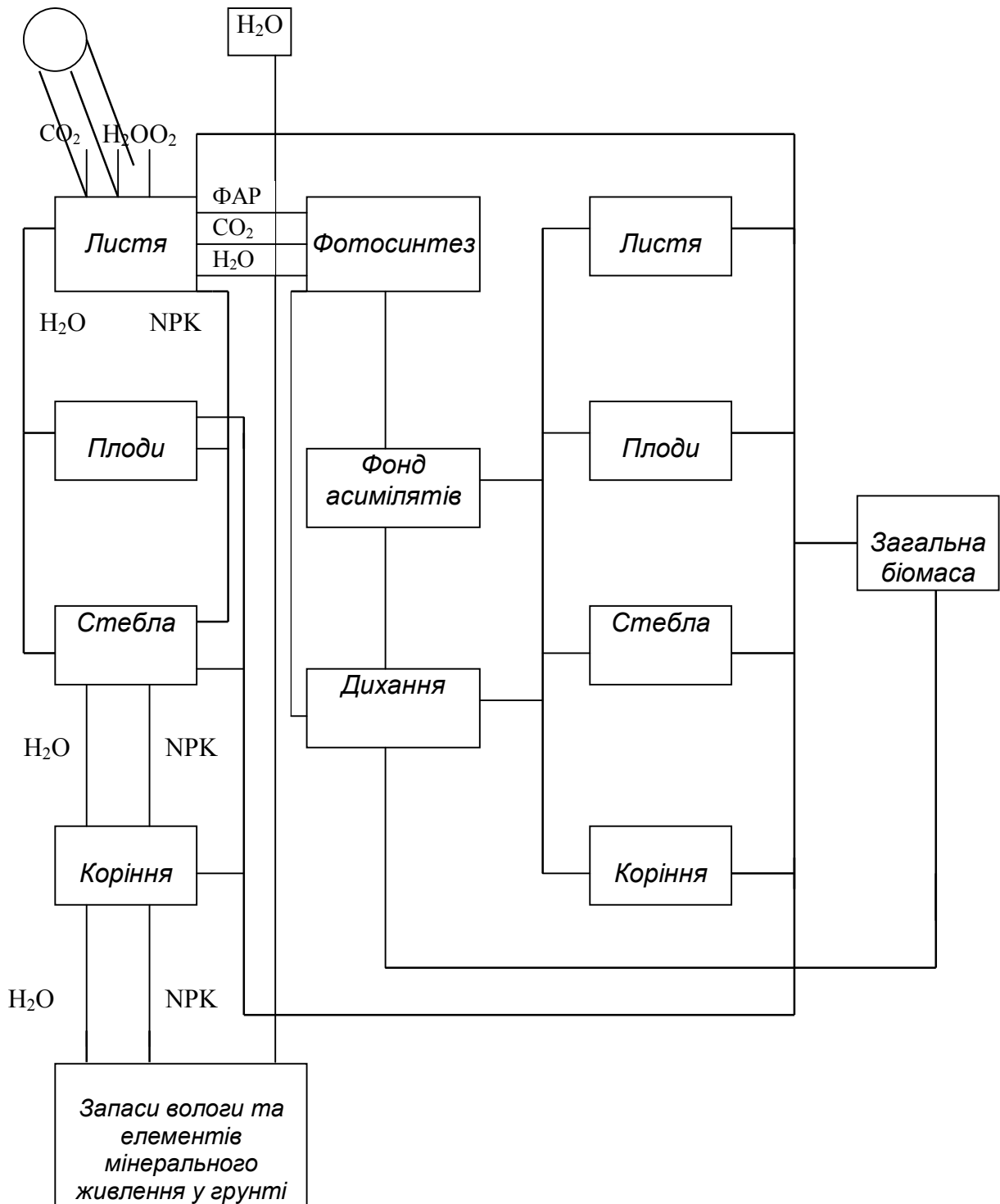


Рис. 3.1 – Блок-схема продуктивного процесу

Для аналізу приросту біомаси використовується *чиста продуктивність фотосинтезу* посівів, яка визначається як

$$E_{ч.п} = \frac{1}{\bar{L}_o} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (3.4)$$

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

Чиста продуктивність фотосинтезу використовується для характеристики фотосинтетичної активності листової поверхні.

В період вегетативного росту в оптимальних умовах збільшення структурної маси відбувається пропорційно самій масі. Закономірності росту окремих органів рослини визначаються закономірностями, що завдані генетичним кодом рослин.

Рослини ростуть у певному температурному інтервалі, а в середині цього інтервалу при оптимальних значеннях температури ріст досягає максимальної швидкості.

За високих значень водного потенціалу вода не лімітує ріст органів рослини, але при погіршенні водного режиму ріст уповільнюється або зовсім припиняється.

Ріст рослини в цілому і окремих її органів залежить від концентрації фонду вуглеводів та N, P, K/

Ефективність використання сонячної радіації рослинами характеризується *коефіцієнтами корисної дії (ККД)*, який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу або тієї, що утворилась у фітомасі врожаю, до кількості поглиненої радіації [3].

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_\phi}, \quad (3.5)$$

де  $\eta$  – ККД;  $q$  – калорійність рослин, кДж/г;  $Y$  – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м<sup>2</sup>;  $\sum Q_\phi$  – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м<sup>2</sup>.

Одночасно з визначенням ККД посіву за загальною сухою масою рослин можна визначити окремо ККД господарсько цінної частки врожаю за вегетаційний період

$$\eta_x = \frac{qM_x \cdot 100\%}{\sum Q_\phi}, \quad (3.6)$$

де  $M_x$  – суха фітомаса господарсько цінної частки врожаю.

Таким чином,  $\eta_x$  – це доля ФАР, яка накопичується впродовж вегетаційного періоду у фітомасі врожаю.

$$\eta_x = \eta \cdot K_{зосп}, \quad (3.7)$$

де  $K_{зосп}$  – коефіцієнт господарської ефективності врожаю.

Для визначення калорійності рослин  $q$  (питомої теплоти згорання) використовуються різні способи. Х.Г.Тоомінгом встановлено, що середня калорійність схої біомаси знаходиться у межах 16,7–20,5 кДж/г. Вона змінюється в онтогенезі і для різних органів рослини калорійність різна.

В екстремальних умовах росту рослин калорійність вища, ніж в оптимальних, що пояснюється адаптацією рослин до умов середовища. Значення  $q$  деяких ценозів наводяться у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Середня теплота згорання  $q$  біомаси деяких ценозів (за Н.Літтом)

Фітоценоз	$q$ , кДж/г	Фітоценоз	$q$ , кДж/г
Ліси:		Картопля	18,4
вологі тропічні	17,2	(за Шатіловим)	
вічнозелені	17,6	Картопля	17,2
літньозелені	19,3	(за Тоомінгом)	
змішані	19,7	Кукурудза (за Устенко)	17,6
Луки помірних зон	16,7	Трави	18,0
Посівні площі	17,2	Гриби	19,7

Величина  $q$  має сезонний хід. Наприклад, у картоплі вона змінюється від 15,9 кДж/г після появи бокових пагонів до 20,1 кДж/г в період цвітіння.

ККД рослин можна визначити як відносно падаючої, так і відносно поглиненої радіації. У такому випадку

$$\eta_{над} = a_n q_{погл}, \quad (3.8)$$

де  $\eta_{над}$  – ККД, визначений відносно падаючої радіації, а  $\eta_{погл}$  – ККД, визначений відносно поглиненої радіації;  $a_n$  – функція поглинання.

ККД поглиненої фітоценозом радіації характеризує фотосинтетичну активність і економічність дихання рослин. В посівах сільськогосподарських культур ККД відносно падаючої ФАР характеризує ефективність агротехніки та якість експлуатації землі.

ККД посівів залежить від термінів сівби та норми висіву, від кількості внесених мінеральних добрив, погодних умов. ККД окремих культур протягом вегетаційного періоду дуже змінюється (наприклад, для

кукурудзи – від 0,4% до 5,5%). Крім того, *ККД* посіву в цілому нижче ніж *ККД* листя.

Потенціальний *ККД* сільськогосподарських рослин за вегетаційний період становить близько 3 %, в період максимальних приростів – 3-4 %.

Значення *ККД* посіву в цілому значно нижче *ККД* листя. За даними О.О.Ничипоровича [17], причинами зменшення *ККД* посівів є: недостатня площа листової поверхні, особливо на початку вегетації; поступове збільшення витрат на дихання фотосинтезуючих і не фотосинтезуючих органів рослин; старіння листя і зменшення активності його фотосинтезу; наявність всередині посіву листя, яке не адаптувалось до існуючих умов *ФАР*.

В середньому посіви за значеннями *ККД* розподіляються на групи:

завжди спостерігаються	–	0,5-1,5%
добрі	–	1,5-3,0%
рекордні	–	3,5-5,0%
теоретично можливі	–	6,0-8,0% .

Значення *ККД* найчастіше використовується при розробці принципів максимального використання *ФАР*, та програмуванні врожаїв сільськогосподарських культур та моделюванні продукційного процесу рослин.

*Коефіцієнт господарської ефективності врожаю* ( $K_{zocn}$ ) є важливим показником продуктивності посівів сільськогосподарських культур. Він водображає відношення кількості сухої фітомаси господарської частини врожаю (зерно, плоди, бульба) до загальної сухої фітомаси. Значення  $K_{zocn}$  залежить від сортів сільськогосподарських культур та агрометеорологічних умов їх вирощування.

Розробляючи питання теорії отримання високих врожаїв на основі фотосинтетичної діяльності рослин в посівах, О.О. Ничипорович [17] відзначає, що накопичення сухої маси врожаю перш за все залежить від кількості засвоєного  $CO_2$ . Цей показник можна виразити як суму годинної інтенсивності фотосинтезу ( $mg\ CO_2/(dm^2 \cdot g)$ ) впродовж дня в  $t$  годин, перемножену на 0,1

$$\Phi = \sum (\Phi_{1,2,\dots,t}) \times 0,1\text{ г } CO_2/(m^2 \cdot d) . \quad (3.9)$$

При засвоєнні в процесі фотосинтезу кожного грама  $CO_2$  в листі утворюється 0,62 – 0,68 ( в середньому 0,64) вуглеводів. В цілому кількість продуктів фотосинтезу ( $M_{дн}$ ) складає

$$M_{дн} = \Phi_{CO_2} \times 0,64\text{ г}/(m^2 \cdot d) . \quad (3.10)$$

Чиста добова продуктивність фотосинтезу розраховується за формулою



$$\Phi_{ч.пр} = (\Phi_{CO_2} \times 0,64) + A - D - O \text{ г/(м}^2 \cdot \text{д)} , \quad (3.11)$$

де  $A$  - кількість засвоєної речовини мінерального живлення;  $D$  - витрати на дихання та природний процес відмирання органів і тканин,  $O$  - витрати на екзосмос речовин із коріння в ґрунт.

А.А. Ничипоровичем встановлено, що втрати речовини на дихання і інші ( $D + O$ ) складають 20 – 25 % денного фотосинтезу. Величина  $A$  складає 5 – 10 %. Таким чином,  $A - D - O = - 20$  %. В такому випадку коефіцієнт ефективності фотосинтезу ( $K_{еф}$ ) становить не 0,64 а 0,50 – 0,55, тобто ( 0,64 – 20 – 25 %). Тоді залежність величини чистої продуктивності фотосинтезу від інтенсивності і денної суми можна розрахувати з виразу

$$\Phi_{ч.пр} = \Phi_{CO_2} \times K_{еф} \text{ г/(м}^2 \cdot \text{д)} \quad (3.12)$$

Добові прирости сухої біомаси ( $C$ ) біологічного врожаю розраховуються за формулою

$$C = (\Phi_{CO_2} \times K_{еф} \times L) / 1000 \text{ кг/(га} \cdot \text{д)} , \quad (3.13)$$

де  $L$  – площа листя на день розрахунку на 1 га.

Загальний біологічний врожай рослин ( $Y_{біол}$ ) за весь вегетаційний період ( $n$ ) розраховується за формулою

$$Y_{біол} = \sum (\Phi_{CO_2} \times K_{еф} \times L) 1,2,3... n / 10^5 \text{ ц/га} . \quad (3.14)$$

Між тим, процес формування врожаю не тільки кількісний, але і якісний через те, що в ньому безперервно змінюються і хід процесів живлення і співвідношення між його видами, і використання речовин, які утворюються в процесі живлення. Для отримання врожаю господарсько важливої його частини необхідно, щоб у відповідні періоди росту розподіл заново утворених і накопичених питомих речовин та асимілятів було найбільш сприятливе для формування не тільки біологічного, але і господарського врожаю.

Коефіцієнт ефективності формування господарської частини врожаю ( $K_{госп}$ ) визначається як частка використаних питомих речовин на його утворення. Тоді господарський врожай визначається як

$$Y_{госп} = Y_{біол} \times K_{госп} \quad (3.15)$$

Таким чином найбільші врожаї сільськогосподарських культур можна отримати при таких оптимальних умовах :

- найбільшій площі листя;

- найбільш тривалому часі роботи фотосинтетичного апарату;
- високій інтенсивності фотосинтезу, денного засвоєння вуглекислоти в процесі фотосинтезу і коефіцієнта його ефективності ( $K_{\text{еф}}$ ); найкращому розподілу і використанню утвореної речовини.

Оптимальний хід описаних процесів залежить від темпів утворення листя, тривалості його життєдіяльності, інтенсивності роботи. Цей процес, в свою чергу, залежить від вид у ценозу і його сукупності, тому що кількість його на одиницю площі – це реальна виробнича система, яка має свої закономірності формування і розвитку.

Господарський врожай [17] визначається морфогенетичними особливостями будови рослини. М.С. Савицький виділяє п'ять елементів структури врожаю щодо зернових культур: кількість рослин на одиницю площі під час збирання врожаю ( $P$ ), продуктивну кустистість ( $K$ ), кількість колосків у колосі, середня кількість зерен в колоску ( $З$ ), масу 1000 зерен за стандартної вологості ( $A$ ). Ним запропонована формула врожаю зернових

$$Y = (P \times K) (З \times A) / 10000 \quad (3.16)$$

(10 000) число для перевodu врожаю в ц/га).

Для визначення врожаю овочевих культур (томатів, перцю, баклажанів, огірків, кабачків, кавунів, динь, гарбузів П.І. Патроном запропонована формула

$$Y = P \cdot n \cdot B / 10^5, \quad (3.17)$$

де  $P$  – кількість рослин на га;  $n$  – кількість плодів на одну рослину;

$B$  – середня маса плоду;  $10^5$  – коефіцієнт для перевodu врожаю в ц/га.

Для визначення врожаю коренеплодів, капусти цибулі та часнику запропонована формула

$$Y = P \cdot B / 10^5. \quad (3.18)$$

Кількість колосків у колосі, кількість плодів на одну рослину, кількість зерен у колосі та середня маса плоду залежать від спадкових особливостей сорту чи гібриду. Будь – який сорт може сформувати найвищу продуктивність тільки в умовах відповідності навколишнього середовища його біологічним особливостям.

Для описування кількісного росту сухої фітомаси рослин в цілому та окремих органів використовується система рівнянь, яка отримана на основі уявлень про фотосинтез, дихання та обмін асимілятів між окремими органами рослини [15,16,17]:

$$\frac{\Delta m_i^j}{\Delta t} = \frac{\beta_i^j \Phi^j}{1 + C_{G_i}} - \frac{(\alpha_{R_i}^j C_{m_i} \Phi_R^j + v_i^j) \tilde{m}_i^j}{1 + C_{G_i}}; \quad (3.19)$$

$$\frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} = \frac{\beta_p^j \Phi^j}{1 + C_{G_i}} - \frac{(\alpha_{R_p}^j C_{m_p} \Phi_R^j \tilde{m}_p - \sum_i^{l,s,r} v_i^j \tilde{m}_i)(l,s,r)}{1 + C_{G_i}},$$

де  $\Delta m_{i(p)} / \Delta t$  – швидкість росту  $i$ -го вегетативного (репродуктивного) органу,  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$ ;  $\tilde{m}_{i(p)}$  – функціонуюча біомаса  $i$ -го вегетативного (репродуктивного) органу,  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $\beta_i$  – ростова функція вегетативного періоду, безрозмірна;  $\alpha$  – онтогенетична крива дихання, безрозмірна;  $v_i$  – ростова функція репродуктивного періоду,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;  $l$  – коріння;  $s$  – листя;  $r$  – стебла;  $C_m$  – коефіцієнт дихання підтримки,  $\text{г} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{д}^{-1}$ ;  $C_G$  – коефіцієнт дихання росту, безрозмірний;  $\Phi$  – фотосинтез посіву,  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$ .

В таких рівняннях функції дихання росту та дихання підтримки структур безпосередньо не розраховуються, а враховуються через коефіцієнти  $\alpha_{R_i}, C_{m_i}, C_{G_i}, \Phi_R$ .

В роботі [16] запропоновано спосіб приблизної оцінки ростових матриць шляхом переходу від них до осереднених ростових функцій. Рівняння для опису кількісного росту  $i$ -го органу записується у вигляді

$$\begin{cases} \frac{\Delta m_i^{j+1}}{\Delta t} = \beta_i^j \frac{\Delta M}{\Delta t} - v_i m_i \\ \frac{\Delta m_p^j}{\Delta t} = \beta_i^j \frac{\Delta M}{\Delta t} + \sum_i^{l,s,r} v_i m_i \end{cases}, \quad (3.20)$$

де  $\Delta m_{i(p)} / \Delta t$  – приріст сухої біомаси  $i$ -го вегетативного ( $i$ ), репродуктивного ( $p$ ) органа,  $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{д}^{-1}$ .

Функції вегетативного росту  $\beta_i$  визначаються згідно із системою з формули

$$\beta_i = \Delta m / \Delta M \quad (3.21)$$

і показують частку сумарного приросту всієї рослини, яка припадає на  $i$ -й орган.

Функції репродуктивного росту

$$v_i = \frac{\Delta m_i}{\Delta t} \cdot m_i^{-1} \quad , \quad (3.22)$$

де  $\beta_i$  і  $v_i$  – параметри, які показують сумарний прилив старих асимілятів із вегетативного органа до репродуктивного органу, безрозмірні;

Дещо інший спосіб визначення ростових функцій старих асимілятів зустрічаємо у роботі [15].

Ростові функції визначаються за приростами сухої біомаси окремих органів рослини. Для багатьох культур (картопля, ярий ячмінь та інші) вони визначені експериментально. При цьому ряд авторів відзначають деякі відмінності між ростовими функціями, отриманими за окремі роки. Вони пояснюються як впливом особливостей погодних умов, так і похибками вимірів. У зв'язку з цим, в динамічних моделях формування врожайності використовують осереднені за декілька років згладжені функції росту.

За шкалу часу функцій росту запропоновано використовувати не календарний, а "біологічний" час, який визначається сумою температур повітря. Це підвищує стійкість та порівнянність ростових функцій.

Використання моделей формування врожаю для розробки методів оцінки агрометеорологічних умов вирощування та прогнозування врожайності сільськогосподарських культур припускає знання функції росту для самого широкого набору культур у різних ґрунтово-кліматичних зонах. Організація з цією метою систематичних біометричних спостережень на агрометстанціях є досить трудомісткою роботою. Враховуючи це, стає очевидним, що експериментальне визначення ростових функцій – дуже важке завдання.

Питання про можливість побудування ростових функцій на загальній основі, спираючись на знання закономірностей індивідуального розвитку рослин, до теперішнього часу не досліджувалось. Це питання має як теоретичне, так і практичне значення, оскільки дозволяє запропонувати досить загальне математичне описання ростових функцій та використовувати багаторічні матеріали спостережень на станціях за фенологією, станом сільськогосподарських культур та структурою їх врожаю.

Функція росту  $i$ -го органа протягом вегетативного періоду, згідно з [15], визначається як відношення приросту біомаси  $i$ -го органа до приросту біомаси цілої рослини. Для описання експериментальних даних про

динаміку накопичення біомаси можна використовувати трипараметричну логістичну криву росту  $m(t)$ , яка задається формулою:

$$m(t) = \frac{m^*}{1 + 10^{a-bt}} \quad (3.23)$$

та має такі властивості

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} m(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} m(t) = m^*, \quad m(0) = \frac{m^*}{1 + 10^a}. \quad (3.24)$$

Крива має точку перегину при  $t_n = a/b$ , при якому  $m(a/b) = m^*/2$ , крива симетрична відносно точки перегину.

Аналіз формули дозволяє побачити, що параметр кривої  $m^*$  характеризує максимальну біомасу рослини (органа), параметр  $a$  визначає місце знаходження кривої на осі часу, а параметр  $b$  – крутизну (стрімкість) кривої. Якщо логістичними кривими описувати вегетативне зростання окремих органів рослини за постійних оптимальних умов або за багаторічними даними, то криві будуть зміщені відносно одна одної по осі часу в залежності від часу утворення будь-якого органа (3.2).

Сім'я кривих, які представлені на рис.3.2, описується рівнянням:

$$m_i(t) = \frac{m_i^*}{1 + 10^{a_i - b_i(t - t_{\omega_i})}} \quad (3.25)$$

точка перегину  $t_{n_i}$  визначається з умови  $a_i - b_i(t - t_{\omega_i}) = 0$ . Із цього випливає, що  $t_{n_i} = t_{\omega_i} + a_i / b_i$ .

Але параметри логістичних кривих  $m_i^*$ ,  $a_i$  і  $b_i$  важко визначити у польових умовах.

Знання закономірностей індивідуального розвитку рослин дозволяє визначити час початку та закінчення росту кожного органа. Матеріали фенологічних спостережень дають можливість визначити ці строки за календарем та подати їх у зручному для розрахунку вигляді (кількість днів від початку вегетації, сума активних чи ефективних температур).

На практиці момент утворення  $i$ -го органа рослини  $t_{\omega_i}$  визначається візуально, в цей час маса  $i$ -го органа  $m_i(t_{\omega_i}) = m_{\omega_i} > 0$ . Максимальної маси  $i$ -й орган досягає у кінцевий момент часу  $t_{m_i}$  при біомасі  $m_{n_i} < m_i^*$ . Треба

пам'ятати, що не існує чіткого поділу між періодами вегетативного та репродуктивного росту.

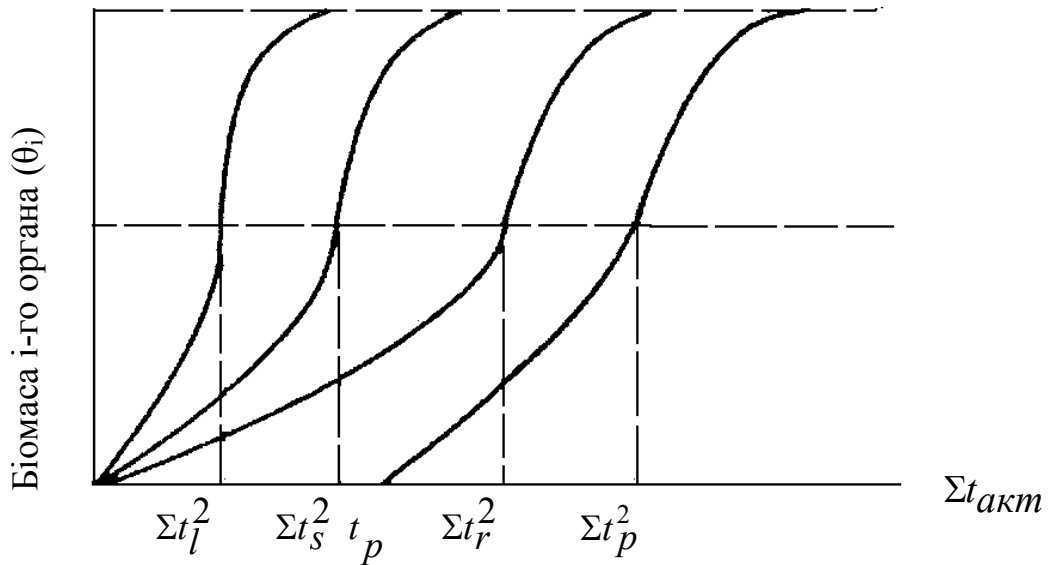


Рис. 3.2 – Динаміка накопичення біомаси окремих органів рослин ( $x$ ).  
 ( $\Sigma t_l, \Sigma t_s, \Sigma t_r, \Sigma t_p$  – суми температур, що становлять  $\frac{1}{2}$  суми, необхідної для закінчення росту органів:  $l$  - листя,  $s$  - стебел,  $r$  - коріння,  $p$  – колосу;  $\Sigma t_p$  – сума температур початку росту колосу).

Момент часу  $t_{m_i}$  визначаємо так, щоб інтервал часу від утворення  $i$ -го органа до досягнення максимальної швидкості росту (точка перегину)  $t_n = t_{\omega_i} + a_i / b_i$  дорівнював інтервалу часу  $t_{m_i} - t_{n_i}$ , тоді

$$t_{n_i} - t_{\omega_i} = t_{m_i} - t_{n_i}.$$

Звідси

$$a_i / b_i = (t_{m_i} - t_{\omega_i}) / 2. \quad (3.26)$$

Тоді при  $t = t_{\omega_i}$  та при  $t = t_{m_i}$  отримуємо

$$m_i(t_{\omega_i}) = m_{\omega_i} = \frac{m_i^*}{1 + 10^{a_i}}, \quad (3.27)$$

$$m_i(t_{m_i}) = m_{m_i} \frac{m_i^*}{1 + 10^{a_i - b_i(t_{m_i} - t_{\omega_i})}}. \quad (3.28)$$

Виразимо параметри логістичних кривих  $m_i$ ,  $a_i$  та  $b_i$  через нові параметри  $m_{\omega_i}$ ,  $m_{m_i}$  та  $t_{m_i}$ , враховуючи співвідношення (3.26), (3.27), (3.28).

Знайдемо параметр  $b_i$

$$b_i = \frac{2a_i}{t_{m_i} - t_{\omega_i}},$$

$$a_i - b_i(t_{m_i} - t_{\omega_i}) = a_i - 2a_i \frac{t_{m_i} - t_{\omega_i}}{t_{m_i} - t_{\omega_i}} = -a_i,$$

$$m_{m_i} = \frac{m_i^*}{1 + 10^{-a_i}}, \quad (3.29)$$

$$\frac{m_{m_i}}{m_{\omega_i}} = \frac{1 + 10^{a_i}}{1 + 10^{-a_i}} = 10^{a_i}$$

знайдемо, що

$$a_i = \log \frac{m_{m_i}}{m_{\omega_i}}, \quad (3.30)$$

Підставимо формулу (3.30) у формулу (3.28)

$$m_{\omega_i} = \frac{m_i^*}{1 + 10^{(\log m_{m_i} / m_{\omega_i})}} = \frac{m_i^*}{1 + m_{m_i} / m_{\omega_i}}$$

Тоді

$$m_i^* = m_{\omega_i} + m_{m_i} \quad (3.31)$$

Якщо підставити вираз (3.31) у формулу (3.27), то визначимо

$$b_i = \frac{2a_i}{t_{m_i} - t_{\omega_i}} = \frac{2 \log m_{m_i} / m_{\omega_i}}{t_{m_i} - t_{\omega_i}} \quad (3.32)$$

Введемо нові позначки. Позначимо  $m_{m_i} / m_{\omega_i}$  через  $S_i$  і  $t_{m_i} - t_{\omega_i}$  через  $P_i$ . Тоді запишемо

$$a_i = \log S_i, \quad (3.33)$$

$$b_i = \log S_i / P_i. \quad (3.34)$$

Таким чином, співвідношення (3.31), (3.33) та (3.34) виражають параметри  $a_i$ ,  $b_i$  та  $m_i^*$  через нові параметри  $m_{\omega_i}$ ,  $m_{m_i}$  та  $t_{m_i}$ .

Підставимо  $a_i$ ,  $b_i$  та  $m_i^*$  у вираз (3.26) та знайдемо, що

$$a_i - b_i(t - t_{\omega_i}) = \log S_i - \frac{\log S_i}{P_i}(t - t_{\omega_i}) = \log \left[ S_i \left( 1 - \frac{t - t_{\omega_i}}{P_i} \right) \right],$$

$$m_i(t) = \frac{m_{\omega_i} + m_{m_i}}{1 + 10^{\log S_i \left( 1 - \frac{t - t_{\omega_i}}{P_i} \right)}},$$

після спрощення рівняння логістичної кривої у кінцевому вигляді маємо вираз

$$m_i(t) = \frac{m_{\omega_i} + m_{m_i}}{1 + S_i \left( 1 - \frac{t - t_{\omega_i}}{P_i} \right)}. \quad (3.35)$$

Розрахунок функцій вегетативного росту за допомогою формули (3.27) полягає у визначенні відношення приросту  $i$ -го органа до приросту всієї рослини. Враховуючи це, розміри біомаси можна розглядати як у абсолютних величинах, так і у відносних одиницях – у вигляді відношення частини (окремого органа) до всієї рослини.

Рівняння, яке описує зміну біомаси окремого органа у відносних одиницях, має вигляд

$$\mu_i(t) = \frac{C_i}{1 + S_i \left( 1 - \frac{t - t_i}{P_i} \right)}, \quad (3.36)$$



де  $C_i$  – параметр, що характеризує частку біомаси  $i$ -го органа у біомасі всієї рослини.

Рівняння швидкості росту біомаси

$$\frac{\Delta \mu_i}{\Delta t} = \frac{C \ln S_i \cdot S_i^{\left(1 - \frac{t-t_i}{P_i}\right)}}{P_i \left[ S_i^{\left(1 - \frac{t-t_i}{P_i}\right)} + 1 \right]^2} \quad (3.37)$$

Тоді функції росту  $i$ -го органа у вегетаційний період записуються у вигляді

$$\beta_i = \frac{\Delta m_i}{\sum_i \Delta M_i}, \quad (3.38)$$

$$\beta_i > 0, \quad \sum \beta_i = 1, \quad \in i, c, l, s, r, p.$$

При розробці загального підходу до описання ростових функцій А.М.Польовий [15,16] використовував такі передумови. На початку цвітіння вегетативні органи рослин досягають максимального розміру, у цей період вся біомаса функціонує, отже  $m_i = \tilde{m}_i$ . У період цвітіння витрати на дихання та перетікання у репродуктивні органи "старих" асимілятів компенсується припливом "свіжих" асимілятів у  $i$ -й орган, тоді

$$\frac{\Delta m_i}{\Delta t} = 0.$$

Після цвітіння знижується надходження свіжих асимілятів до вегетативних органів, починається розпад життєвих структур – процес старіння вегетативних органів. При цьому

$$\frac{\Delta m_i}{\Delta t} < 0.$$

При відмиранні органа життєдіяльні структури повністю розпадаються, кількість функціонуючої біомаси дорівнює нулю ( $\tilde{m} = 0$ ).

У процесі старіння продукти розпаду білків, а також рухливі вуглеводи відмираючої частини, перетікають до репродуктивних органів.

Отже, можна визначити критичну величину  $m_{crit_i}$ , на яку зменшується біомаса вегетативного органа перед тим, як він відмирає:

$$m_{crit_i} = m_{max_i} k_{s_i}, \quad i \in l, s, r \quad (3.39)$$

Якщо біомасу  $i$ -го органа на початку старіння позначити як  $m_{max_i}$ , то біомаса органа на момент дозрівання буде дорівнювати:

$$m_{rip_i} = m_{max_i} - m_{crit_i}. \quad (3.40)$$

Розділимо всі члени виразу (3/40) на  $m_{max_i}$ , отримаємо значення  $\mu$  у відносних одиницях:

$$\mu_{rip_i} = 1 - k_{s_i}. \quad (3.41)$$

Процес зменшення біомаси в залежності від віку органа можна представити у вигляді прямої, аналітичний вигляд цієї залежності такий:

$$\mu_i = d_i t + d_{\infty} \quad (3.42)$$

Параметр  $d_i$  характеризує швидкість зменшення біомаси (у відносних одиницях) вегетативного органа, його можна знайти з формули

$$d_i = -\frac{k_{s_i}}{t_{rip} - t_{max_i}}, \quad (3.43)$$

де  $t_{rip}$  – час дозрівання рослини;

$t_{max_i}$  – час досягнення органом максимальної маси.

Запишемо  $d_i = v$  та виразимо час за традиційною для агрометеорології шкалою; тоді отримаємо

$$v_i = -\frac{k_{s_i}}{\sum T_{rip} - \sum T_{max_i}}, \quad (3.44)$$

де  $\sum T_{max_i}$  та  $\sum T_{rip}$  – суми температур, які накопичилися від початку вегетації до закінчення росту  $i$ -го органа та дозрівання рослини.

У рівняннях (3.41) та (3.44) для оцінки ростових функцій  $\beta_i$  та  $v_i$  параметри визначаються стосовно конкретної культури. Це параметри  $c_i$ ,

$a_i, b_i, t_{\max_i}$  для функцій періоду вегетативного росту та  $k_s, t_{\max}, t_{rip}$  – для функцій періоду репродуктивного росту.

Параметри  $a_i, b_i$  та  $c_i$  (функції періоду вегетативного росту) є параметрами рівняння логістичної кривої, яка описує динаміку біомаси  $i$ -го органа рослини у відносних одиницях,

$$\mu_i = \frac{C_i}{1 + 10^{a_i - b_i t}}.$$

Значення  $C_i$  та  $a_i$  визначалися за допомогою осереднення експериментальних даних та існуючих літературних даних.

Для оцінки параметра  $b_i$  використовувались деякі особливості логістичної кривої вигляду 1 (крива на рис.3.2), наприклад, те, що крива симетрична відносно точки перегину.

Точка перегину виникає при

$$a_i - b_i t = 0. \quad (3.45)$$

З врахуванням часової координати точки перегину  $t$  можна визначити із співвідношення

$$t = a_i / b_i. \quad (3.46)$$

Параметр  $t$  у формулі (3.46) – це час, який дорівнює половині всього періоду росту  $i$ -го органа. Якщо часова шкала визначена у сумах ефективних температур, то параметр  $t$  буде дорівнювати половині суми ефективних температур  $\sum T_{\max_i}$ , яка необхідна для закінчення росту  $i$ -го органа. Таким чином, параметр  $b_i$  приблизно можна визначити за формулою

$$b_i = \frac{a_i}{1/2 \sum T_{\max_i}}. \quad (3.47)$$

Чисельні значення всіх параметрів, про які говорилося вище, представлені в табл.3.2.

Оцінку функцій періоду репродуктивного росту виконуємо згідно формули

$$v_i = - \frac{k_{s_i}}{\sum T_{rip} - \sum T_{\max_i}} \quad (3.48)$$

Таблиця 3.2 – Значення параметрів функцій періоду вегетативного росту різних культур

Параметр	Листя	Стебла	Коріння	Репродук-тивні органи
Озима пшениця				
$a_i$	1,24	1,86	1,92	1,78
$1/2 \sum t_{\max_i}, ^\circ\text{C}$	125	150	150	515
$b_i$	0,010	0,012	0,013	0,003
$c_i$	0,30	0,31	0,11	0,28
Ярий ячмінь				
$a_i$	1,11	2,12	2,13	1,99
$1/2 \sum t_{\max_i}, ^\circ\text{C}$	215	265	265	590
$b_i$	0,005	0,008	0,008	0,003
$c_i$	0,30	0,28	0,11	0,33
Овес				
$a_i$	1,32	2,03	2,02	2,06
$1/2 \sum t_{\max_i}, ^\circ\text{C}$	240	290	290	645
$b_i$	0,005	0,007	0,007	0,003
$c_i$	0,28	0,28	0,15	0,29

Параметр характеризує граничне зменшення біомаси  $i$ -го вегетативного органа під час його старіння. Параметри  $\sum T_{rip}$  та  $\sum T_{\max_i}$  – це відповідно суми ефективних (активних) температур, які накопичилися за період вегетації рослини (сходи – воскова стиглість у зернових культур, сходи – в'янення баділля у картоплі) та суми ефективних температур (або активних), необхідних для закінчення росту  $i$ -го органа. Чисельні значення функцій періоду репродуктивного росту представлені у табл.3.3

Таблиця 3.3 – Значення функцій періоду репродуктивного росту  $v$  ( $^\circ\text{C}^{-1}$ )

Культура, сорт	Функції		
	$v_l \times 10^{-4}$	$v_s \times 10^{-4}$	$v_k \times 10^{-4}$
Озима пшениця, Миронівська 808	-2,7	-3,6	-2,6
Ярий ячмінь, Ліговський 78	-3,5	-4,7	-3,4
Картопля, Детськосільська	-4,0	-5,1	-3,9

## 3.2 Агрометеорологічні умови і продуктивність рослин

### 3.2.1 Оцінка часової мінливості врожаїв сільськогосподарських культур

Прогрес в сільському господарстві сприяв значному підвищенню врожайності усіх культур. Але при загальному зростанні врожайності, коливання її в окремі роки дуже значні і останнім часом не зменшуються. Тому, для одержання програмованих врожаїв і науково-обґрунтованого розміщення сільськогосподарських культур, поряд з розв'язанням інших питань, необхідне вивчення часової мінливості врожаїв в різних кліматичних зонах.

Коливання врожаїв сільськогосподарських культур в окремі роки обумовлюється впливом великої кількості факторів, як то: досягнення генетики і селекції, кількість і якість добрив, строки і норми їх внесення, засоби боротьби з шкідниками і хворобами, меліорація земель, види сільськогосподарської техніки і погодні умови.

При розв'язанні багатьох практичних питань виникає необхідність оцінки впливу на врожаї окремих факторів або їх груп. Для цього розглядають часовий ряд врожаїв.

Часовим рядом називається послідовність спостережень, упорядкованих згідно з часом. Головною особливістю, що відрізняє аналіз часових рядів серед інших видів статистичного аналізу, є суть порядку, в якому проводяться спостереження [13,16]. Якщо в багатьох задачах спостереження, як правило, статистично незалежні, то в часових рядах вони залежні і характер залежності визначається розміщенням спостережень в цій послідовності.

У загальному вигляді часовий ряд представляє собою вираз

$$y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n, \quad (3.49)$$

де  $y_i$  – значення  $i$ -го рівня часового ряду,  $n$  – довжина часового ряду.

Однією з найважливіших задач аналізу часових рядів є визначення основної закономірності зміни в часі (тенденції) явища, що вивчається. З цією метою розкладають ряд на дві складові, які характеризують різні групи факторів. При цьому за загальну статистичну модель часового ряду беруть модель

$$y_t = f(t) + E_t, \quad (3.50)$$

де  $f(t)$  – деяка не випадкова функція часу;

$E_t$  – випадкова складова часового ряду (випадкова компонента).

Ці компоненти часового ряду не спостерігаються, вони – теоретичні величини. В цій моделі вважається, що з часом випадкова компонента не змінюється і будь-яка залежність від часу входить до стаціонарної складової.

Стаціонарна складова часового ряду зумовлюється рівнем культури землеробства, визначає загальну тенденцію зміни врожаю за розглядуваний період, і представляє собою плавну лінію – *тренд*. Тренд характеризує основну закономірність розвитку явищ з часом, але ця закономірність не повністю вільна від випадкових впливів. Тренд описує тенденцію, осереднену для ряду спостережень.

Випадкова компонента зумовлена погодними особливостями окремих років, визначає їх вплив на формування врожаїв і зумовлює відхилення від лінії тренда.

Такий розклад зумовлюється тим, що рівень культури землеробства впливає на врожайність сільськогосподарських культур не тільки в поточному році, але й у подальшому, тобто сільському господарству притаманна інерційність, внаслідок чого різких коливань врожаїв двох суміжних років, пов'язаних з культурою землеробства, не спостерігається. Тому тренд досить точно характеризує середній рівень урожаїв, зумовлений визначеною культурою землеробства, економічними і природними особливостями будь-якого району.

Колівання врожаїв біля лінії тренда характеризують сприятливість чи несприятливість погодних умов окремих років.

Головною проблемою розв'язання задачі аналітичного спрямування часових рядів є вибір конкретної аналітичної формули функції, оскільки ця формула здебільшого визначає результати екстраполяції тренда. Форма тренда і його параметри визначаються через добір найкращої (за будь-яким із показників статистичних критеріїв) функції із числа наявних. При правильному виборі тренда відхилення від нього будуть мати випадковий характер.

Якщо за певний відрізок часу спостерігається рівномірна зміна врожайності, то лінія тренда описується рівнянням прямої (рис.3.3):

$$y = a_0 + a_1t \quad (3.51)$$

Якщо ж зміна врожайності нерівномірна то лінія тренда – це парабола другого порядку (рис.3.3.):

$$y = a_0 + a_1t + a_2t^2, \quad (3.52)$$

де  $y$  – врожайність;

$a_0$  – вирівняний рівень врожайності на початку даного періоду;

$a_1$  – середньорічний приріст врожайності, зумовлений культурою землеробства;

$a_2$  – прискорення приросту врожайності (тенденція зміни середнього річного приросту);

$t$  – порядковий номер року в ряду врожайності.

З рисунка видно, що вирівняний рівень врожаїв озимої пшениці на початок періоду становить на півдні України 5,1ц/га, на півночі – 12,4ц/га. На півдні України впродовж всього періоду спостерігалось рівномірне зростання середнього врожаю, обумовлене культурою землеробства. Річний приріст становить 0,7ц/га. На півночі України ріст врожаїв нерівномірний. На загальному фоні підвищення врожаїв на початку періоду спостерігалось падіння середнього врожаю, яке визначилось від'ємною величиною приросту (-1,05 ц/га). Далі приріст щорічно зростав на 0,06 ц·га<sup>-1</sup>, що забезпечило значне підвищення середніх врожаїв на кінець періоду.

Мінливість врожаїв за період оцінюється коефіцієнтом варіації

$$C_v = \frac{\sigma_y}{\bar{y}}, \quad (3.53)$$

де  $\sigma_y$  – середнє квадратичне відхилення ряду врожаїв;  $\bar{y}$  – середній врожай.

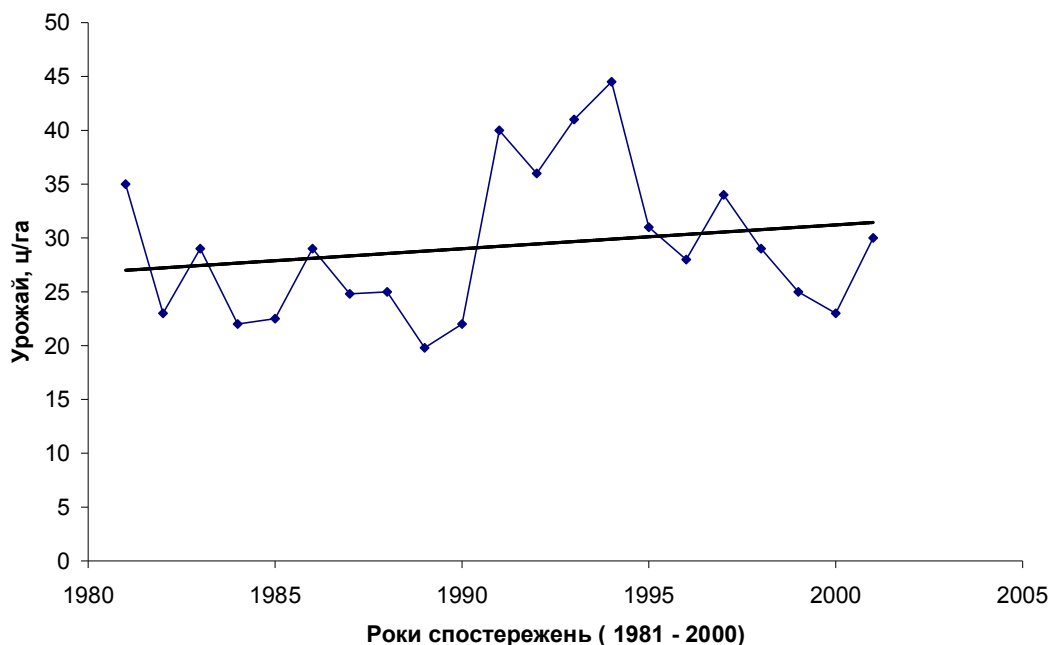


Рис. 3.3 Динаміка врожаїв і лінія тренда озимої пшениці.

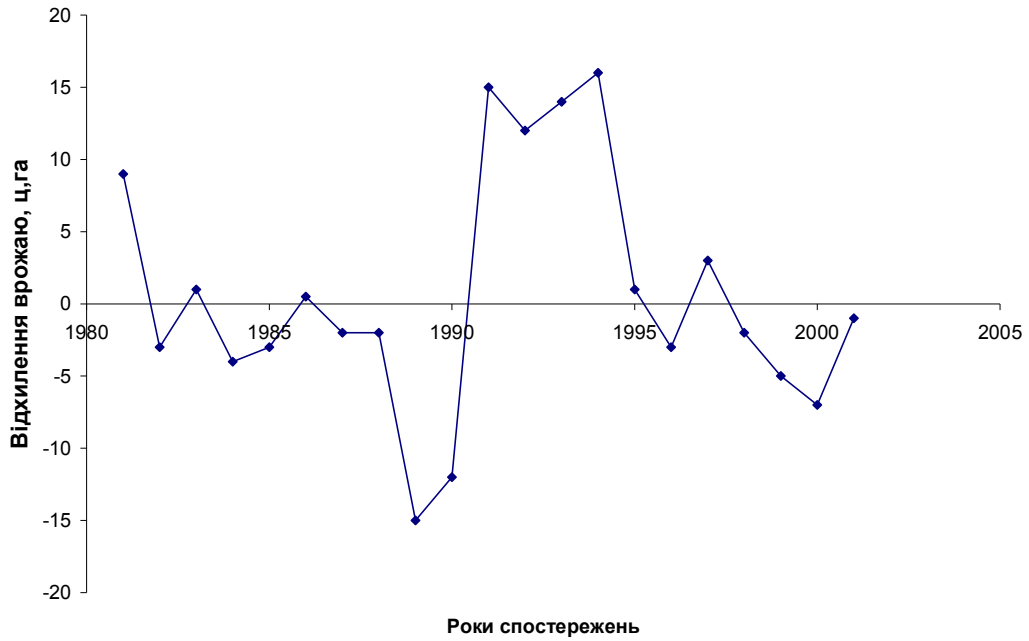


Рис. 3.4 Відхилення врожаїв озимої пшениці від лінії тренда.

Коефіцієнт варіації характеризує загальну варіацію ряду врожаїв, яка обумовлена всіма чинними факторами. Доцільно оцінювати також окремо вклад культури землеробства і погодних умов. Для цього загальну дисперсію ряду розкладають на суму двох дисперсій: дисперсію по'язану з культурою землеробства ( $\sigma_{K3}^2$ ), і дисперсію, зумовлену погодою окремих років ( $\sigma_n^2$ ):

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}; \quad (3.54)$$

$$\sigma_{32}^2 = \sigma_{K3}^2 + \sigma_n^2; \quad (3.55)$$

$$\sigma_n^2 = \sigma_{32}^2 - \sigma_{K3}^2; \quad (3.56)$$

$$\sigma_{32}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \text{ і } \sigma_{K3}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}; \quad (3.57)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}; \quad (3.58)$$



$$c_n = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (3.59)$$

де  $y_i$  – врожайність, розрахована з рівняння лінії тренда (динамічна середня);  $c_n$  – коефіцієнт варіації врожаїв, зумовлений особливостями погоди окремих років;  $y_i$  – значення ряду врожаїв;

$\bar{y}$  – середнє арифметичне значення ряду;  $n$  – довжина ряду.

Середня квадратична помилка коефіцієнта варіації  $\sigma_{c_n}$  розраховується з формули:

$$\sigma_{c_n} = \frac{c_n \sqrt{1 + c_n^2}}{\sqrt{2(n-1)}}. \quad (3.60)$$

В порівнянні з вищеописаними методами розрахунку лінії тренда метод гармонічних зважувань, запропонований З.Хельвігом [47,65] для прогнозування економічних показників, має ту перевагу, що відпадає необхідність вибору функції аналітичного порівнювання. Головна мета методу гармонічних зважувань полягає в тому, що внаслідок порівняння окремих спостережень часового ряду віддається перевага пізнішим спостереженням.

При використанні методу гармонічних зважувань за деяке наближення  $f(t)$  дійсного тренда береться ламана лінія, яка зрівнює чинну кількість даних часового ряду  $y_t$ .

Мінливе положення окремих відрізків ламаної лінії, яка представляє тренд, описує безперервну зміну у виучуваному процесі, тобто окремі його фази. Для визначення окремих фаз руху поточного тренда необхідно вибрати деяке число  $k < n$  та за допомогою методу найменших квадратів розрахувати параметри рівнянь лінійних відрізків (фаз тренда):

$$y_i(t) = a_i + b_i t; \quad (i = 1, 2, \dots, n-k+1), \quad (3.61)$$

де  $k < n$  – кількість точок згладженого ряду,

при цьому: для  $i = 1, t = 1, 2, \dots, k$ ; для  $i = 2, t = 2, 3, \dots, k+1$ ;

для  $i = n - k + 1, t = n - k + 2, \dots, n$ .

Параметри  $a$  і  $b$  визначаються методом найменших квадратів.

Далі слід визначити значення кожної функції  $y_i(t)$  у точках:  $t=i+n-1, n=1, 2, \dots, k$ . Відібрати серед цих значень ті, для яких  $t = i$  і визначити через  $y_i(t)$  значення функції  $y_i(t)$  для  $t=i$ . Кількість визначень в кожній точці  $y_i(t)$  нехай буде  $q_i$ . Середнє визначається з виразу

$$\bar{y}_i(t) = \frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{q_i} y_i(t), \quad j=1,2,\dots,q_i. \quad (3.62)$$

Прогнозування значення часового ряду визначається з формули

$$\bar{y}_{t+1} = \bar{y}_t + \bar{\omega}_{t+1}, \quad (3.63)$$

де  $\bar{\omega}_{t+1}$  – середнє прирощення функції  $f(t)$ .

Для прогнозу тенденції часового ряду методом гармонічних зважувань повинні виконуватись такі передумови:

- 1) часовий ряд повинен бути досить тривалим, щоб всередині цього ряду була можливість простежити закономірність процесу;
- 2) відхилення від поточного тренда повинні представляти стаціонарний випадковий процес.

Метод гармонічних зважувань враховує ці передумови, а розрахунки виконуються у такій послідовності.

Прирощення функції:

$$\omega_{t+1} = f(t+1) - f(t) = \bar{y}_{t+1} - \bar{y}_t. \quad (3.64)$$

Середні прирощення:

$$\bar{\omega}_{t+1} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^n \cdot \omega_{t+1}, \quad (3.65)$$

де  $C_{t+1}^n$  – гармонічні зважування, які визначаються з формули,

$$C_{t+1}^n = \frac{m_{t+1}}{n-1}, \quad (3.66)$$

де  $m_{t+1}$  – гармонічні коефіцієнти.

При розрахунку гармонічних коефіцієнтів зберігається головна ідея методу – більш пізнім спостереженням надається більше ваги. Найраніші спостереження мають вагу

$$m_2 = \frac{1}{n-1}, \quad (3.67)$$

в наступний момент вага інформації  $m_3$  буде

$$m_3 = m_2 + \frac{1}{n-1}. \quad (3.68)$$

Таким чином, ряд зважувань визначається з рівняння

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t}; \quad (t = 2, 3, \dots, n-1), \quad (3.69)$$

з початковою величиною, визначеною з рівняння (8.19).

Екстраполяція тенденції часового ряду визначається з виразу

$$y_{t+1} = y_t + \omega_{t+1}. \quad (3.70)$$

Запропонований вище алгоритм описує розрахунок динамічної складової часового ряду за методом гармонічних зважувань.

Для екстраполяції тенденції врожайності використовуються щорічні дані середньої обласної врожайності сільськогосподарських культур всіх категорій господарств у центнерах з гектара.

При розрахунках тенденції врожайності сільськогосподарської культури необхідно враховувати те, що часовий безперервний інтервал, в якому розглядається врожайність, повинен складати не менше 18 років. За цієї умови кількість років, що утворюють одну фазу поточного тренда, становить 16 ( $k = 16$ ).

### **3.2.2 Оцінка впливу високих температур на формування продуктивності ярої пшениці.**

Високі температури часто супроводжують посушливі явища, які значно впливають на продуктивність сільськогосподарських культур. За останні два десятиріччя збільшилось число комплексних кількісних методів оцінки впливу посух на продуктивність сільськогосподарських культур з врахуванням їх видової та сортової специфіки. Розширення знань про систему ґрунт-рослина-атмосфера дозволило розробити екофізіологічні моделі найважливіших процесів. Ці розробки узагальнюються у вигляді динамічних моделей формування врожаїв конкретних сільськогосподарських культур.

Модель «погода-врожай» [11,16,19,24] дозволяє на основі знань про запаси продуктивної вологи на дату появи сходів та стандартної метеорологічної інформації розраховувати динаміку сухої фітомаси посівів та площі листя де-яких зернових культур (ячменю, ярої пшениці) від сходів до воскової стиглості. Крім того, розраховуються і де-які

характеристики водного режиму ґрунту, сумарне випарування. Ця інформація дає можливість аналізувати вплив посух на поточний стан та продуктивність посівів та ін.

*Динамічна модель формування врожаю ярої пшениці* є оновленою модифікацією моделі «погода-врожай», яка вперше враховує видову специфікацію ярої пшениці, а також особливості водно-теплового режиму ґрунтів степової та лісостепової зон.

При побудові рівнянь росту у цій моделі посів розглядається як функційно диференційоване ціле, в якому виділено чотири структурні одиниці: листя -  $l$ , стебла -  $s$ , коріння -  $r$ , колоски -  $R$ .

Модель вміщує такі біологічні функції:

$\alpha_{l_1}, \alpha_{r_1}, \alpha_{R_1}$  – функції розподілу до колосіння;

$\alpha_{l_{11}}, \alpha_{r_{11}}, \alpha_{R_{11}}$  – функції розподілу після колосіння;

$\beta_l, \beta_s, \beta_R$  – функції поверхневої гущини;

$\lambda_l, \lambda_s, \lambda_R$  – функції втрат;

$\gamma_l, \gamma_s, \gamma_R$  – функції жовтіння.

Ростова функція для стебел визначається

$$\alpha_s = 1 - (\alpha_l + \alpha_r + \alpha_R). \quad (3.71)$$

Чисельні значення параметрів наведені у табл. 3.4.

Як аргумент усіх біологічних функцій моделі взято біологічний час, що визначається у моделі двома способами. Аргументом біологічних функцій  $\lambda_p, \beta_p, \gamma_p$  є сума ефективних температур  $\omega^j$ , яка підраховується від сходів,

$$\omega^j = \omega^{j+1} + (t^j - t_o), \text{ якщо } t^j \geq t,$$

інакше

$$\omega^j = \omega^{j-1}, \quad (3.72)$$

де  $t^j$  – середня за добу температура повітря,  $^0\text{C}$ ;

$t_o$  – біологічний нуль =  $5^0\text{C}$ .

Слід враховувати, що при визначенні ефективних температур ярої пшениці до колосіння, необхідно виключати так звані «баластні» температури, тобто середні за добу температури вище  $20^0\text{C}$ . Це дозволить зменшити середньоквадратичну помилку визначення на 28%. Тому сума ефективних температур визначається від появи сходів за виразами (3.73-3.75):

$$\omega_{\text{вк}}^j = \omega_{\text{вк}}^{j-1} + (t^j - t_o), \text{ якщо } t_c < t^j < t_{\text{он}} \quad (3.73)$$

$$\omega_{\text{вк}}^{j-1} = \omega_{\text{вк}}^{j-1} - (t_{\text{он}} - t), \text{ якщо } t^j > t_{\text{он}} \quad (3.74)$$

$$\omega_{\text{вк}}^{j-1} = \omega_{\text{вк}}^{j-1}, \text{ якщо } t^j \leq t_o, \quad (3.75)$$

де  $t_{\text{он}}$  – нижня межа «баластних» температур.

Після колосіння врахування «баластних» температур не призводить до зменшення помилок у визначенні воскової стиглості. У зв'язку з цим після колосіння  $\omega_{\text{вк}}^j = \omega_R$  і обрахування ростових функцій відбувається за допомогою звичайної суми ефективних температур, яка підраховується від колосіння.

Ростові функції представлені аналітичним виразом

$$\alpha_{pk}^j = x_1 \cdot \exp[-x_2 (A_k^j - x_3)^2] \quad k \in \text{I, II}, p \in l, r, R, \quad (3.76)$$

де  $x_1$  – максимальне значення функції;

$x_2$  – коефіцієнт, який характеризує нахил графіка функції;

$A_k^j$  – аргумент функції;

$$A_1^j = \frac{\omega_{\text{вк}}^j}{\omega_R}, \quad A_{11}^j = \frac{\omega_{\text{вк}}}{\omega_B} \quad (3.77)$$

де  $\omega_R, \omega_B$  – суми температур на момент колосіння та воскову стиглість;

$x_3$  – час настання максимуму функції.

Інші біологічні функції ( $\lambda_p, \beta_p, \gamma_p$ ) розраховуються через  $RF$  за формулою:

$$RF = x_1 \cdot \exp \left[ -x_2 \left( \frac{\omega - x_3}{100} \right)^2 \right], \quad (3.78)$$

де  $\lambda_p = RF$ ;

$\beta_p = RF + x_4$ ;

$\gamma_p = RF$ ;

$x_3$  – сума ефективних температур, при якій спостерігається максимум функції;

$x$  – асимптота функції.

Таблиця 3.4 – Головні параметри моделі «погода-врожай» для ярої пшениці ( за В.П. Дмитренком)

Параметр	Оцінка параметра	Параметр	Оцінка параметра
$T_0$	5 <sup>0</sup> С	$L_R$	0,3
$T_{0H}$	20 <sup>0</sup> С	$S_R$	0,3
$T_R$	27 <sup>0</sup> С	$r_R$	0,3
$T_{0p}$	21 <sup>0</sup> С	$K_{SO}$	53,49 мм/доб
$\alpha$	0,023 мг/кал	$\Delta W$	4 мм
$r_c$	4,0 с/см	$n$	1
$r_{mes}$	0,3 с/см	$F$	3,5
$R_R$	0,5	$a_s$	0,16·10 <sup>-3</sup> мм/доб
$R_0$	0,01 доб <sup>-1</sup>	$\rho_r$	0,103 мг/см <sup>3</sup>
$\varepsilon$	0,67мгСН <sub>2</sub> О/мгСО <sub>2</sub>	$q_r$	1,17 см
$d_1$	0,15·10 <sup>-3</sup> см <sup>-1</sup>	$\varepsilon_0$	1,498 мм/доб
$a_2$	0,4·10 <sup>-3</sup> см <sup>-1</sup>	$\varepsilon_1$	0,4·10 <sup>-3</sup> см <sup>-1</sup>
$c$	54·10 <sup>-5</sup> г/см <sup>3</sup>	$m$	0,745
$\sigma_s$	0,289	$r_{cut}$	85,6 с/см
$\sigma_R$	1,0	$Z_r$	38,75

Параметри біологічних функцій моделі наведені у табл. 3.5

Таблиця 3.5 – Параметри біологічних функцій моделі «погода-врожай» для ярої пшениці

Значення		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
параметр	індекс				
$\alpha_{p1}$	$l$	0,568	3,453	0,226	-
	$r$	0,489	2,586	-0,013	-
	$R$	1,000	2,270	1,740	-
$\alpha_{p11}$	$l$	33,525	7,062	-0,552	-
	$r$	0,034	27,011	-0,025	-
	$R$	1,000	2,270	0,74	-
$\beta_p$	$L$	53,98	0,0054	-3080,0	0,146
	$R$	1,19	0,0405	-346,5	0,095
	$R$	0,474	0,0096	-802,5	0,020
$\gamma_p$	$L$	1,0	0,189	666,0	-
	$R$	1,0	0,628	940,4	-
	$R$	1,0	1,319	963,0	-
$\lambda_p$	$L$	1,814	0,024	2016,8	-
	$R$	0,026	2,170	994,4	-
	$R$	0,022	0,103	1066,0	-

Змінні  $L^j$  та  $LC^j$  подвійно впливають на  $\Phi^j$ . Одночасно з тенденцією зростання сумарного фотосинтезу при збільшенні площі листя зростає і супротивна тенденція – зменшення фотосинтезу одиниці поверхні листя за рахунок зменшення  $J^j$ . У пшениці, окрім листя, фотосинтезують стебла і колосся, тому для розрахунків фотосинтезу посівів площа листя, стебел та колосся підсумовується:

$$L^j = \beta_l^j \cdot m_l^j + \beta_s^j \cdot m_s^j + \begin{cases} 0, \text{ якщо } \omega_{БК}^j \leq \omega_R \\ \beta_R^j m_R, \text{ якщо } \omega_{БК}^j > \omega_R \end{cases}$$

$$LC^j = \gamma_l^j \beta_l^j \cdot m_l^j + \sigma_s \gamma_s^j \beta_s^j \cdot m_s^j + \begin{cases} 0, \text{ якщо } \omega_{БК}^j \leq \omega_R \\ \sigma_R \gamma_R^j \beta_R^j m_R^j, \text{ якщо } \omega_{БК}^j > \omega_R \end{cases}, \quad (3.79)$$

де  $\sigma_s$ ,  $\sigma_R$  – коефіцієнти ( $\leq 1$ ), що дорівнюють відношенню фотосинтезу одиниці площі стебел або колосу до фотосинтезу одиниці площі листової поверхні.

Температурна залежність фотосинтезу має вираз:

$$\psi_T^j = \begin{cases} 1 - 2x^2, \text{ якщо } 0 < x < 0,5 \\ 2(1 - x)^2, \text{ якщо } 0,5 \leq x < 1 \\ 0, \text{ якщо } T^j < T_o, \text{ або } T^j \leq 35^0 \text{ C} \end{cases}, \quad (3.80)$$

$$\text{де } x = \begin{cases} \frac{T_{op} - T^j}{T_{op} - T_o}, \text{ якщо } T^j < T_{op} \\ \frac{T^j - T_{op}}{35 - T_{op}}, \text{ якщо } T^j > T_{op} \end{cases}$$

$T_{op}$  – оптимальна температура для фотосинтезу, яка дорівнює для ярої пшениці  $21^0\text{C}$ .

Температурна залежність дихання має вираз

$$\varphi_T^j = 2^{0,1(T^j - T_R)}, \quad (3.81)$$

де  $T_R$  – температура, за якої  $\varphi_T^j = 1$ .

Алгоритм зростання коріння має вираз:

$$Z^j = \frac{m_r^j}{\rho_r}, \text{ якщо } Z^j > Z^{j-1}, \text{ інакше } Z^j = Z^{j-1}$$

$$\mu_i^j = \exp\left[-q_r \frac{10(i-1)}{Z^j}\right] - \exp\left[-q_r \frac{10i}{Z^j}\right], \quad (3.82)$$

де  $Z^j$  – нижня межа розповсюдження коріння за умов, що його щільність дорівнює  $\rho_r$  (мг сухої маси коріння на  $1\text{см}^3$  ґрунту) та не змінюється з глибиною;

$q_r$  – параметр;

$i$  – шар ґрунту;

$\mu_i^j$  – частка коріння в  $i$ -ому шарі ґрунту.

Водний блок моделі «погода-врожай» складається з двох розділів: розрахунку ефективних опадів і розрахунку вологості ґрунту. Під ефективними розуміють опади, що поглинаються ґрунтом. Тому із загальної суми опадів визначають кількість вологи, яка витрачається на змочування рослин:

$$P_{ef}^{*j} = R^j - 0,2, \quad \text{якщо } \omega_{вк}^j < \omega_R^j;$$

$$P_{ef}^{*j} = R^j - 0,9, \quad \text{якщо } \omega_{вк}^j \geq \omega_R^j; \quad (3.83)$$

та витрати опадів на стік за допомогою формули Аракаві:

$$k_r^j = \left[ 1 + \left( \frac{W_1^{ПВ} - W}{P_{ef}^{*j}} \right)^n \right]^{1/n} - \frac{W_1^{ПВ} - W_1^j}{R_{ef}^{*j}}, \quad (3.84)$$

де  $k_r^j$  – коефіцієнт стоку;

$n$  – параметр;

$W^{ПВ}$  – повна вологоємність;

$W_1^j$  – поточні запаси продуктивної вологи верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту.



Вологість ґрунту розраховується як результат розв'язання рівняння:

$$\frac{dW_i}{dt} = q_{i-1} - q_i - TR_i - \sigma_i E, \quad (3.85)$$

де  $t$  – час;

$W_i$  – вологозапаси  $i$ -го шару ґрунту, ( $i=\overline{1,14}$ );

$q_{i-1}, q_i$  – потоки води через верхню та нижню межу  $i$ -го шару;

$TR_i$  – витрати води на транспірацію;

$E$  – випарування ґрунту;

$\sigma_i$  – логічна змінна, яка дорівнює 1 при  $i=1$  та 0 для інших шарів ґрунту.

Транспірація ( $TR$ ) та випарування з ґрунту ( $E$ ) розраховується за такими формулами:

$$TR^j = \varepsilon_o (d^j)^m \left[ 1 - \exp(-0,412 LG^j) \right] \frac{r_{st}^j + r_{cut}}{r_{st}^j \cdot r_{cut}} \quad (3.86)$$

$$E^j = \left[ \frac{1 - \exp(-0,412 LG^j)}{1,22 (LG^j)^{1,19}} \right] \exp(-\varepsilon \psi_1^j) \varepsilon_o (d^j)^m, \quad (3.87)$$

де  $d$  – середній за добу дефіцит насичення повітря;

$\psi_i^j$  – водний потенціал верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту;

$\varepsilon_o, \varepsilon_1, m_1, r_{cut}$  – емпіричні параметри, їх оцінки наведені у табл.3.4.

Водний потенціал розраховується на основі визначення вологості ґрунту

$$\psi_i^j = 15 \cdot 10^3 \exp \left( -7,76 \frac{W_i^j - W_i^{B3}}{W_i^{ПВ} - W_i^{B3}} \right) \quad (3.88)$$

### **Приклад розрахунку.**

Всі початкові дані, необхідні для проведення розрахунків, розподіляються на *чотири групи*: константи часу і місця, ґрунтові константи, характеристики стану посіву та ґрунту, метеорологічні дані.

#### 1 група:

- а)  $\varphi$  – географічна широта місця (градус);
- б)  $t_0$  – номер доби від умовного 0 - 20 березня;
- в)  $\omega_0$  – біологічний час - сума ефективних температур від сходів до початку розрахунків,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- г)  $\omega_R$  – середня багаторічна або фактична сума ефективних температур за період сходів – кушіння,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- д)  $\omega_B$  – середня багаторічна або фактична сума ефективних температур за період сходів – колосіння,  $^{\circ}\text{C}$ ;

#### 2 група:

- а)  $W_1^{BB}$  – вологість в'янення (мм) ґрунту по десятисантиметрових шарах до метра;
- б)  $W_1^{PB}$  – повна вологоємність (мм) ґрунту по десятисантиметрових шарах;

#### 3 група:

- а)  $m_l^0, m_r^0$  – значення сухої біомаси (ц/га) листя та коріння на дату сходів;
- б)  $W_1^0, W_2^0 \dots W_{10}^0$  – запаси вологи у ґрунті (мм) по десятисантиметрових шарах до метра;

#### 4 група:

- а)  $T^j$  – середня за добу температура повітря,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- б)  $d^j$  – середній за добу дефіцит насичення повітря, мб;
- в)  $S^j$  – кількість годин сонячного сяйва за добу, год;
- г)  $P^j$  – добова сума опадів, мм.

Виконуються необхідні розрахунки для оцінки умов формування врожаю ярої пшениці у районі АМС Єршов на прикладі вегетаційного періоду 2007 р. Розрахунки проводяться щодавно. Початок розрахунків - 3 травня - дата появи сходів;  $\varphi = 51,3$ ;  $t_0 = 43$ ;  $\omega_0 = 0$ ;  $\omega_R = 527$ ;  $\omega_B = 468$ .

Значення ґрунтових констант у табл. 3.6.

Початкові значення сухої біомаси листя та коріння визначаються на основі даних про густоту посіву = 370 росл/м<sup>2</sup>

$$m_l^0 = 0,0371 \cdot 2,96 \text{ мг/см}^2 = 0,11 \text{ мг/см}^2;$$

$$m_r^0 = 0,0371 \cdot 3,23 \text{ мг/см}^2 = 0,12 \text{ мг/см}^2$$

Таблиця 3.6 – Значення ґрунтових констант (мм). АМС Єршов, 2007 р.

Показник	Шар ґрунту, см									
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100
$W_i^o$	26,1	27,1	24,6	26,3	28,0	27,8	28,2	28,0	26,6	25,0
$W_i^{B3}$	13,9	15,7	15,7	17,6	18,8	20,3	18,6	17,9	18,9	17,4
$W_i^{ПВ}$	62,0	60,0	59,0	53,0	48,0	45,0	42,0	41,0	41,0	42,0

Обсяг даних, необхідних для розрахунків, досить великий. Для прикладу виконуються розрахунки за одну з декад червня (близько дати колосіння - 12 червня) (табл. 3.7).

Перші розрахунки виконуються на дату сходів за кліматичними даними

$$E_o^j = \frac{13,5}{12,2} \cdot 100 = 111\%$$

Другий розрахунок виконується за фактичними даними на 10 травня, третій – за фактичними даними на 20 травня і так до кінця вегетації.

Результати розрахунків:

Дата сходів	10 травня	20 травня	31 травня	10 червня
Урожай, ц/га:	13,5	13,5	10,7	5,8

Маючи розрахований врожай, обраховують кількісні оцінки агрометеорологічних умов окремих декад або міжфазних періодів. Так, оцінка другої декади травня =  $10,7/13,5 \cdot 100 = 79\%$ ; третьої -  $98\%$ ; першої червня -  $55\%$ .

Крім кінцевої величини врожаю, модель «погода-врожай» дозволяє розраховувати інші показники, необхідні для всебічної оцінки впливу агрометеорологічних умов на формування врожаю: запаси продуктивної вологи, сумарне випарування, транспірацію, динаміку фітомаси листя, стебел, коріння, колосся та ін.

Таблиця 3.7 – Вихідна метеорологічна інформація для оцінки умов формування врожаю ярої пшениці (Єршов, 1 декада червня)

Дата	Фактичні дані				Середні багаторічні дані			
	$T, ^\circ\text{C}$	$d, \text{мб}$	$S, \text{г}$	$R, \text{мм}$	$T, ^\circ\text{C}$	$D, \text{мб}$	$S, \text{г}$	$R, \text{мм}$
1	23.5	24.3	13.1	-	18.1	10.4	10.6	0.3
2	23.1	21.8	14.8	-	18.2	10.5	10.7	15.0
3	22.7	10.2	12.6	-	18.4	10.6	10.7	0.3
4	24.5	23.4	14.6	-	18.5	10.6	10.8	-
5	25.5	26.0	12.1	-	18.7	10.7	10.8	-
6	26.1	25.5	6.7	-	18.8	10.8	10.9	-
7	26.8	26.0	12.2	-	19.0	10.9	10.9	-
8	25.0	13.7	6.7	-	19.1	11.0	11.0	-
9	22.7	13.0	10.6	-	19.3	11.1	11.0	-
10	23.0	17.0	12.9	-	19.4	11.2	11.1	-

### 3.2.3 Агрометеорологічні умови формування різних агроекологічних категорій врожайності

При розробці принципів максимального використання ФАР посівами сільськогосподарських культур Х.Г. Тоомінгом запропоновано поняття різних агроекологічних категорій врожайності. Визначається чотири різних агроекологічних категорій врожайності з урахуванням внесених модифікацій та із залученням більш повної інформації і наповнення цих категорій новим змістом: потенційна (ПВ), метеорологічно можлива (ММВ), дійсно можлива врожайність (ДМВ) і врожайність у виробництві (УВ) [21].

**Потенційна врожайність** – це врожайність, яка забезпечується надходженням ФАР за оптимального впродовж вегетаційного періоду режиму метеорологічних величин.

Приріст потенційної врожайності за декаду визначається залежно від інтенсивності ФАР і біологічних особливостей культури з урахуванням зміни здатності рослин до фотосинтезу протягом вегетації

$$\frac{\Delta PV^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фap}}^j \cdot dv^j}{q}, \quad (3.89)$$

де  $\frac{\Delta ПВ^j}{\Delta t}$  – приріст потенційної врожайності за декаду;

$\alpha_\phi$  – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\eta$  – ККД посівів;

$Q_{\phi ap}$  – інтенсивність ФАР;

$d\nu$  – кількість днів в розрахунковій декаді;

$q$  – калорійність;

$j$  – номер розрахункової декади.

Середня калорійність сухої біомаси різних видів змінюється в межах 16.7 – 20.5 кДж/г. Калорійність змінюється в онтогенезі і для окремих органів рослин вона різна.

**Метеорологічноможлива врожайність** - це потенційна врожайність, яка обмежується зволоженням та температурним режимом.

Приріст метеорологічно можливої врожайності визначається за формулою

$$\frac{\Delta ММВ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПВ^j}{\Delta t} \cdot FTW2, \quad (3.90)$$

де  $\frac{\Delta ММВ^j}{\Delta t}$  – приріст метеорологічно можливої врожайності;

$FTW2$  – узагальнена функція впливу температурного режиму та режиму зволоження з корекцією на поєднання різних екстремальних умов.

Ця функція визначається за принципом Лібіха з урахуванням впливу температури повітря і умов зволоження на продуктивний процес.

Формування **дійсно можливої врожайності** обмежується рівнем природної родючості ґрунту

$$\frac{\Delta ДМВ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ММВ^j}{\Delta t} \cdot B_{пл} \cdot F_{Gum}, \quad (3.91)$$

де  $\frac{\Delta ДМВ^j}{\Delta t}$  – приріст дійсно можливої врожайності;

$B_{пл}$  – бал ґрунтового бонітету.

Рівень **господарської врожайності** обмежується реальним рівнем культури землеробства і ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив

$$\frac{\Delta УВ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ДМВ^j}{\Delta t} \cdot k_{земл} \cdot FW_{ef}^j, \quad (3.92)$$

де  $\frac{\Delta UB^j}{\Delta t}$  – приріст врожайності у виробництві;

$k_{земл}$  – коефіцієнт, який характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності;

$FW_{ef}$  – функція ефективності внесення органічних і мінеральних добрив залежно від умов забезпечення вологою декад вегетації. Визначається шляхом перемноження функції впливу вологості ґрунту на ефективність внесення добрив на функцію забезпечення посівів органічними та мінеральними добривами.

Важливим показником продуктивності посівів сільськогосподарських культур вважається коефіцієнт господарської ефективності урожаю, який відображає відношення кількості сухої фітомаси господарської частки урожаю (зерно, бульби, качани, плоди та ін.) до маси загальної сухої фітомаси. Коефіцієнт господарської ефективності залежить від сорту сільськогосподарських культур та агрометеорологічних умов. За допомогою коефіцієнта господарської ефективності розраховуються агроекологічні категорії урожаю плодів при їх стандартній вологості

$$PB_{плодів} = PB \cdot K_{зосп} \cdot 1.14 \cdot 0.1 \quad (3.93)$$

$$MMB_{плодів} = MMB \cdot K_{зосп} \cdot 1.14 \cdot 0.1 \quad (3.94)$$

$$DMB_{плодів} = DMB_{плодів} \cdot K_{зосп} \cdot 1.14 \cdot 0.1 \quad (3.95)$$

$$UB_{плодів} = UB \cdot K_{зосп} \cdot 1.14 \cdot 0.1 \quad (3.96)$$

Для однієї і тієї ж культури коефіцієнт господарської ефективності може бути різним. При високій загальній продуктивності фотосинтезу і високому прирості загальної сухої фітомаси зниження  $K_{земл}$  зумовлено погіршенням умов  $\Phi AP$  в середині посіву при інтенсивному розвитку вегетативної маси рослин, великій висоті рослин і недостатній забезпеченості рослин поживними речовинами при високій вологості ґрунту [16].

Мінеральні елементи при подрібненому і диференціальному вживанні підвищують  $K_{земл}$  і якість урожаю [16]. Сумісне внесення азоту і фосфору, посилене фосфорне живлення, а також бор і марганець сприяють підвищенню, тоді як посилене азотне живлення і мідь знижують  $K_{земл}$  окремих культур. Аналіз дослідів з різними культурами дозволив зробити деякі узагальнені висновки:

1. В ході селекції врожай як загальної сухої фітомаси, так і зерна поступово підвищується, при цьому спостерігається тенденція до зростання  $K_{земл}$ ;

2. Показник  $K_{земл}$  зменшується при дуже низькому та досить високому накопиченню фітомаси, але при певній середній величині фітомаси він досягає найбільшого значення.

Таким чином, високий рівень накопичення загальної фітомаси, з одного боку, є базою для створення високого врожаю плодів, з іншого – часто веде до зниження коефіцієнта господарської ефективності посівів  $K_{земл}$ . Отже, рівень господарсько цінної частки врожаю не завжди пропорційний значенню  $KKД$ , розрахованому по загальній сухій фітомасі. Тому разом з  $KKД$  посіву, розрахованим по загальній сухій фітомасі, можна розраховувати окремо  $KKД$  господарсько цінної частки врожаю за вегетаційний період

$$\eta_{хоз} = \frac{qm_{хоз}}{\sum Q_{\phi}}, \quad (3.97)$$

де  $m_{хоз}$  – суха фітомаса господарсько цінної частки врожаю;

$q$  – калорійність урожаю;

$\sum Q_{\phi}$  – сума  $\PhiАР$  за вегетаційний період.

Таким чином,  $\eta_{хоз}$  – це частка  $\PhiАР$ , яка накопичилась протягом вегетаційного періоду у фітомасі господарсько цінних органів рослин.  $KKД$ , розрахований за загальною сухою фітомасою, і

$\eta_{хоз} = \frac{qm_{хоз}}{\sum Q_{\phi}}$  пов'язані співвідношенням

$$\eta_{хоз} = \eta K_{хоз}. \quad (3.98)$$

Отже, щоб забезпечити високі значення  $KKД$  господарсько цінної частки врожаю, розведення нових сортів і всі агротехнічні прийоми повинні спрямовуватись на забезпечення високого показника  $K_{земл}$  при високому значенні  $KKД$  загальної фітомаси посіву.

Величина, яка показує частку плодів чи зерна у загальній масі врожаю, знаходиться в залежності від розмірів загальної біомаси рослин, з урахуванням впливу температури повітря періоду вегетації на рівень цієї величини

$$K_{хоз} = \left[ -0.43 + 6.702 \cdot 10^{-4} \cdot M_{общ} - 4.171 \cdot 10^{-7} (M_{общ})^2 + 8.889 \cdot 10^{-11} \cdot (M_{цобщ})^3 \right] \cdot t_{K_{хоз}}, \quad (3.99)$$

$$t_{K_{хоз}} = -4.648 + 0.536 \cdot \overline{t_{B.П.}} - 0.13(\overline{t_{B.П.}})^2, \quad (3.100)$$

де  $t_{K_{хоз}}$  – функція впливу температури повітря на рівень  $K_{хоз}$  ;  
 $\overline{t_{B.П.}}$  – середня за період вегетації температура повітря.

Формули (3.89 – 3.100) дозволяють визначити різні агроекологічні категорії врожайності різних сільськогосподарських культур.

### **3.3 Агрометеорологічні умови формування якості врожаїв сільськогосподарських культур**

#### **3.3.1 Агрометеорологічні умови формування якості зерна озимої пшениці**

Високі врожаї сільськогосподарських культур у сполученні з високою якістю продукції є дуже важливим резервом у зростанні виробництва.

Під якістю врожаю розуміють вміст основних органічних речовин у продукції, що зумовлюють мету та доцільність вирощування культури (наприклад, білка в зерні пшениці, цукру в коренеплодах цукрових буряків, крохмалю у бульбах картоплі). Комплексну оцінку одержаної продукції проводять на основі визначення показників біологічної, гігієнічної якості, а також технологічних властивостей, тобто за наявністю та дією показників хімічного й біологічного складу, що зумовлюють оптимальний обмін речовин і функціонування організму. До показників біологічної якості належать вміст нітратів, вітамінів, амінокислотний склад тощо.

На показники якості продукції рослинництва впливає ряд факторів:

- ґрунтово-кліматичні умови вирощування культур;
- сортові особливості;
- строки сівби;
- загальна культура землеробства;
- використання засобів хімізації (з урахуванням оптимальних співвідношень між макро-, мікро- та ультрамікроелементами);
- біологічні особливості культур.

Під технологічними властивостями розуміють комплекс біологічних, хімічних і фізичних показників, які визначають спрямованість та інтенсивність виробничих процесів при переробці сировини й якість готової продукції. Технологічні властивості визначають у процесі переробки сировини і від них залежить кількість одержаного готового продукту.



Гігієнічна якість продукції передбачає виявлення в продукції небажаних і шкідливих речовин, що можуть спричиняти розлади та захворювання організму людей і тварин.

Управління якістю продукції — комплексне завдання. Воно потребує детального аналізу рівня того чи іншого показника якості, вивчення причин, які впливають на його формування й усунення факторів негативної дії.

На якості продукції позначається вміст у рослині мінеральних елементів, основних органічних сполук (білки, вуглеводи, вітаміни, гормони, ферменти) та інші компоненти, що в свою чергу залежить від раціональності застосування добрив. Останні, впливаючи на ці процеси, також визначають цінність продукції тваринництва для харчування людини. Наприклад, зелена маса, в якій міститься недостатня кількість каротину, спричиняє нестачу вітаміну А в молоці корів, що призводить до неповноцінності продуктів харчування людини. Для оцінки біологічної якості рослинних продуктів за поживністю необхідно враховувати їхній вплив на обмін речовин у тварин через забезпечення енергетично цінними продуктами з достатнім вмістом протеїну, вітамінів, мінеральних речовин тощо. Крім того, на неї діють фактори, які порушують метаболізм живих організмів і погіршують їхнє здоров'я. Отже, добрива значною мірою впливають на склад рослин та здоров'я людей чи тварин, що їх споживають. На рівень врожаю та якість зерна впливають генетичний потенціал сорту, природно-кліматичні умови, потенціал родючості ґрунтів та впровадження системи живлення, рівень агротехніки, системи захисту посівів від бур'янів, шкідників, хвороб, фінансово – економічних можливостей господарств. Якщо в насіння не закладено високий потенціал урожайності та якості, то всі інші чинники не можуть покращити ці показники, не зважаючи на технологію вирощування [Моргун]. Лише окремі сорти пшениці мають такий генетичний потенціал, що дає змогу отримувати високі та якісні врожаї в усіх ґрунтово-кліматичних зонах.

Створення та накопичення поживних речовин в рослинах залежить від ґрунтово-кліматичних умов, технології їх вирощування та сортових особливостей. Обґрунтування раціонального використання технології вирощування, яка б підвищувала якість продукції, потребує встановлення кількісних залежностей якості продукції від факторів навколишнього середовища, серед яких провідне місце займають агрометеорологічні умови.

Поки що досліджень кількісних залежностей якості врожаїв від погодних умов, що дозволяють складати прогнози якості очікуваного врожаю, досить мало.

Тому розробка залежностей якості врожаїв від різних чинників є пріоритетною задачею науково-дослідних сільськогосподарських та гідрометеорологічних установ. Відомі розробки і дослідження агрометеорологічних умов формування якості насіння зернових культур, виконані В.М. Страшним [20].

Дослідженнями В.М. Страшного встановлено, що накопичення білка в зерні злакових рослин відбувається за рахунок двох джерел: використання азотистих речовин, які накопичуються у вегетативних органах до початку наливу зерна, та поглинання азоту з ґрунту в період наливу зерна. Тому агрометеорологічні умови вже на ранніх стадіях розвитку рослин впливають на якість зерна.

У період від сходів до припинення вегетації озимої пшениці найбільш тісний зв'язок вмісту білка та клейковини спостерігається з тривалістю цього періоду і середньою температурою повітря за цей же період. Температура повітря  $10 - 11^{\circ} \text{C}$  та тривалість періоду  $40 - 50$  днів сприяють максимальному вмісту білка та клейковини в зерні пшениці.

В ранній весняний період найбільш тісний зв'язок вмісту білка та клейковини в зерні спостерігається з середньою амплітудою температури повітря. З підвищенням амплітуди температури від  $6$  до  $13^{\circ} \text{C}$  вміст білка в зерні озимої пшениці підвищується з  $9$  до  $15\%$ , а клейковини з  $15$  до  $30\%$ .

При доброму зволоженні ґрунту навесні відбувається інтенсивний ріст рослин та інтенсивне утворення бокових пагонів, тобто йде збільшення маси, яка накопичує азот. Ріст коріння в цей період значно уповільнюється. Невідповідність між розвитком коріння та надземної маси уповільнює постачання рослинам азоту. Тому спостерігається зворотний зв'язок вмісту білка та клейковини із запасами продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на дату стійкого переходу температури повітря через  $10^{\circ} \text{C}$  навесні. Найгірша якість зерна спостерігається при запасах вологи більше  $220$  мм. При запасах вологи близько  $100 - 120$  мм якість зерна підвищується (до  $14 - 15\%$  білка та  $26 - 30\%$  клейковини). Таким чином, запаси продуктивної вологи є головним інерційним фактором, який визначає не тільки умови формування врожаю, але і його якість.

При збільшенні тривалості періоду від стійкого переходу температури повітря через  $10^{\circ} \text{C}$  до колосіння якість зерна теж погіршується. В цей період простежується досить тісний зв'язок якості зерна з дефіцитом насичення повітря водяною парою. Найвища якість зерна спостерігається за середніх дефіцитів насичення повітря  $11 - 13$  мб за період від стійкого переходу температури повітря через  $10^{\circ} \text{C}$  до колосіння.

При загущених посівах зменшується кількість пагонів та листя, що формується на них. Зменшення площі листя є причиною зменшення кількості азоту, що надходить в зерно. Найменший вміст білка ( $9 - 10\%$ ) та клейковини ( $15 - 16\%$ ) спостерігається при кількості колосоносних

стебел на квадратний метр більше 900 штук. Із зменшенням гущини посівів на кожні 100 штук колосоносних стебел кількість білка зростає на 0,4 – 0,5 %, клейковини – на 1 – 2 %.

В період наливу зерна азот перетікає із вегетативних органів в зерно. Наприкінці вегетації в зерні накопичується до 6 % загальної кількості азоту.

При збільшенні тривалості періоду від колосіння до досягання та при збільшенні кількості опадів в цей період вміст білка та клейковини в зерні зменшується. Найменше білка (9 %) та клейковини (15 %) спостерігається в зерні озимої пшениці за середньої температури повітря за період від колосіння до воскової стиглості 16° С. З підвищенням температури до 24° С воно збільшується відповідно до 15 та 30 %.

Враховуючи все вищевикладене, В.М. Страшний [20] визначив статистичні залежності середньозваженого по області вмісту білка і клейковини в зерні озимої пшениці провідних сортів (Миронівська 808, Миронівська ювілейна – 50, Миронівська 264) з агрометеорологічними факторами.

Очікуваний середньозважений по області вміст білка ( $У$ ) в зерні розраховується після настання фази масового колосіння за рівнянням

$$U = 4,45A - 0,002W + 0,11d - 0,002N + 0,38t, \quad (3.101)$$

*клейковини*

$$U = 0,67 + 0,37A - 0,017W + 0,65d - 0,004N + 0,86, \quad (3.102)$$

де  $A$  – середня амплітуда температури повітря за період від відновлення вегетації до стійкого переходу через 10 °С;

$W$  – запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту на дату стійкого переходу температури повітря через 10 °С, мм;

$d$  – середній дефіцит насичення повітря за період від стійкого переходу температури повітря через 10 °С до дати колосіння, мм;

$N$  – кількість колосоносних стебел на м<sup>2</sup> у фазу колосіння, шт;

$t$  – середня температура повітря за період від колосіння до воскової стиглості, °С.

Рівняння застосовуються у межах змін середніх по області значень:  $A$  – від 6 до 12 °С;  $W$  – від 110 до 240 мм;  $d$  – від 5 до 14 мб;  $N$  – від 350 до 900 колосоносних стебел;  $t$  – від 16 до 23 °С.

В Україні досить різноманітні ґрунтово-кліматичні умови, які поки що мало враховуються у насінницькій технології.

### 3.3.2 Агрометеорологічні умови формування врожайних властивостей зерна озимої пшениці

Методика оцінки агрометеорологічних факторів для розрахунку врожайних якостей зерна озимої пшениці розроблена в Одеському селекційно-генетичному інституті М.О. Кіндруком [8].

*Під врожайними властивостями зерна у насінництві розуміють здатність різних партій зерен одного і того ж сорту давати в різних умовах агротехніки неоднаковий врожай.* В залежності від агрометеорологічних умов він може відрізнятись на 4 – 7 ц/га і більше, що навіть перебиває сортові відмінності.

Для оцінки агрометеорологічних умов при прогнозуванні врожайних якостей зерна використовується “екологічна модель” формування врожайних якостей зерна різного рівня: підвищені, середні та зменшені.

За основу при побудові екологічної моделі взяті параметри, розраховані по основних міжфазних періодах, починаючи від колосіння рослин: середня температура повітря, середня відносна вологість повітря, кількість атмосферних опадів, кількість днів з температурою повітря 25 °С і вище та 10 °С та нижче, і кількість днів з відносною вологістю повітря 50 % і нижче та 80 % і вище (табл.3.6).

Кожен з цих параметрів оцінюється за десятибальною шкалою:

- 1 – 3 бали для формування насіння із зменшеними врожайними властивостями;
  - 4 – 6 балів – для насіння з середніми властивостями;
  - 7 – 9 балів – для насіння з підвищеними врожайними властивостями.
- При цьому, найвищий бал відповідає оптимальному значенню фактора. Якщо ж показник значно перевищує екстремальні значення факторів, то він оцінюється балом 0.

Автором методу для практичного використання при складанні прогнозу врожайних властивостей насіння розроблена таблиця, за якою будь-яке значення метеорологічного фактора відображено балом врожайності.

Таблиця 3.6 – Межі агрометеорологічних оптимумів формування різного рівня врожайних властивостей насіння озимої пшениці (екологічна модель)

Показник	Міжфазний період вегетації	Рівень врожайних властивостей насіння та його оцінка в балах		
		підвищений, 7 – 9	середній, 4 – 6	понижений, 1 – 3
1	2	3	4	5
Середня температура повітря, °С	Колосіння – молочна стиглість	13 – 17	10 – 12 18 – 21	менше 10 більше 21
	Молочна – воскова стиглість	16 – 18	11 – 15 19 – 23	менше 11 більше 23
Кількість днів з температурою повітря 25 °С і вище	Колосіння – молочна стиглість	0 – 5	6 – 9	більше 9
	Молочна – воскова стиглість	0 – 7	8 – 10	більше 10
Кількість днів з температурою повітря 10 °С і вище	Колосіння – молочна стиглість	0 – 4	5 – 9	більше 9
	Молочна – воскова стиглість	0 – 2	3 – 5	більше 5
	Воскова – повна стиглість	0 – 1	2 – 4	більше 5
Кількість днів з температурою повітря 5 °С і нижче	Воскова – повна стиглість	0	1	більше 1
Опади, мм	Колосіння – молочна стиглість	61 – 120	21 – 60 121 – 160	0 – 20 більше 160
	Молочна – воскова стиглість	41 – 75	11 – 40 76 – 120	0 – 10 більше 120
	Воскова – повна стиглість	0 – 20	21 – 40	більше 40

Продовження таблиці 3.6

Середня відносна вологість повітря, %	Колосіння – молочна стиглість	56 – 80	41 – 55 81 – 95	менше 40 більше 95
	Молочна – воскова стиглість	51 – 75	36 – 50 76 – 90	менше 36 більше 90
	Воскова – повна стиглість	41 – 65	Менше 40 60 – 80	Більше 80
Кількість днів з відотною вологістю повітря 50% і нижче	Колосіння – молочна стиглість	0 – 6	7 – 15	Більше 15
	Молочна – воскова стиглість	0 – 4	5 – 10	Більше 10
Кількість днів з відотною вологістю 80% і вище	Воскова – повна стиглість	0 – 1	2 – 4	Більше 4

Сума балів за усіма параметрами моделі у період від колосіння до збирання озимої пшениці відповідає певному рівню врожайних властивостей зерна озимої пшениці. Для зерна з підвищеними врожайними властивостями ця сума становить більше 110 балів, з середніми – від 110 до 95 та зі зниженими – менше 95 балів (табл. 3.7).

При визначенні врожайних властивостей зерна озимої пшениці необхідно виконати розрахунки:

- за даними фенологічних спостережень визначити тривалість міжфазних періодів: колосіння – молочна стиглість, молочна стиглість – воскова стиглість, воскова стиглість – повна стиглість (при чому у цьому періоді враховується період збирання хліба до 10 днів);

Таблиця 3.7 – Шкала балової оцінки рівня врожайної якості зерна озимої пшениці по міжфазних періодах

Рівень врожайних властивостей	Сума балів по періодах			Загальна сума балів
	колосіння – молочна стиглість	молочна – воскова стиглість	воскова – повна стиглість	
Підвищений	вище 36	вище 38	вище 36	вище 110
Середній	31 – 36	33 – 38	31 – 36	95 – 110
Понижений	нижче 31	нижче 31	нижче 31	нижче 95

- по матеріалах метеорологічних спостережень розраховуються середні значення для кожного міжфазного періоду: середньої температури повітря, кількості днів з температурою вище 25° С, кількість днів з температурою повітря 10° С та нижче, 5° С та нижче, суми опадів, середньої відносної вологості повітря, кількості днів з відотною вологістю 50 % і нижче, кількості днів з відотною вологістю повітря 80 % і вище..
- Отримані значення величин заносяться у робочу таблицю і потім визначається оцінка кожного фактора в балах за кожен міжфазний період. Після оцінки всіх факторів бали підсумовуються та визначається їх сума. Ця сума і буде критерієм оцінки агрометеорологічних умов формування врожайних властивостей зерна.

*Приклад.* У період колосіння – молочна стиглість середня температура повітря становила 16,7° С. Їй відповідає оцінка врожайності у 7 балів. Кількість днів з температурою повітря вище 25°С становила 2 дні – їй відповідає оцінка 9 балів. Днів з температурою нижче 10 та 5°С не було – оцінка 10 балів. Оподи склали 40 мм – оцінка 5 балів. Середня відносна вологість була 55% – оцінка 5 балів. Кількість днів з відотною вологістю повітря 50% і нижче становила 5 – оцінка 7 балів. Загальна сума балів за період колосіння – молочна стиглість становить 38. Так само оцінюються усі величини періоду молочна – воскова стиглість. У нашому випадку за цей період набирається теж 38 балів. І за період від воскової до повної стиглості сумарна оцінка – 26 балів. За три періоди сумарна оцінка становить 102 бали, тобто зерно буде з середніми врожайними властивостями.

Для оперативної оцінки агрометеорологічних умов автор методу розробив номограму (рис. 3.4). Визначені показники відкладаються на номограмі, де відразу буде чітко простежуватись, за яким графіком йде формування врожайних властивостей насіння. Так, попередній приклад з температурою повітря в період колосіння – молочна стиглість 16,7° С попадає у поле високих врожайних властивостей зерна.

За даним методом прогноз врожайних властивостей зерна можна складати з річною завчасністю з використанням довгострокових синоптичних прогнозів та середніх багаторічних величин.

Причинами відхилення отриманих величин врожайних властивостей зерна у прогнозі бувають: відхилення від загальноприйнятої технології вирощування насіння та пошкодження зерна патогенами (збудниками грибкових захворювань), клопами-черепашками та ін.

Зрошення зменшує негативний вплив високих температур на врожайні властивості зерна.

Після розрахунків врожайних властивостей зерна на великих територіях виділяються зони гарантованого, стійкого, нестійкого та ризикованого насінництва озимої пшениці.

На матеріалах багаторічних спостережень до зони гарантованого насінництва озимої пшениці відноситься більша частина центрального та правобережного Лісостепу (Вінницька, південні райони Київської області, Черкаська області).

Ймовірність формування знижених врожайних властивостей спостерігається більше ніж у 20 % років.

До зони стійкого насінництва відноситься лівобережний Лісостеп (Сумська, Полтавська та Харківська області), та райони північного та центрального Степу, що прилягають до цих областей, центральна частина Криму та вузькі смуги біля Чорного та Азовського морів. Низьковрожайні властивості зерна тут спостерігаються не більше ніж у 17 – 25 % років.

Південно-східні райони північного та центрального Степу (Дніпропетровська, Донецька, Луганська, Запорізька області), Південний Степ, за винятком центральної частини Криму, а також центральне та східне Полісся (Житомирська, центральні та північні райони Київської області, Чернігівська область) відносяться до зони нестійкого насінництва. Ймовірність формування знижених властивостей зерна спостерігається тут майже у 30 % років, тобто один раз у 3 – 4 роки. До зони ризикованого насінництва відносяться північно-західна частина Полісся, західна частина Лісостепу (окрім придністровської частини), північно-західні райони Хмельницької області, гірські та перед гірські райони Карпат). Низькі врожайні властивості зерна тут формуються раз у 2-3 роки.



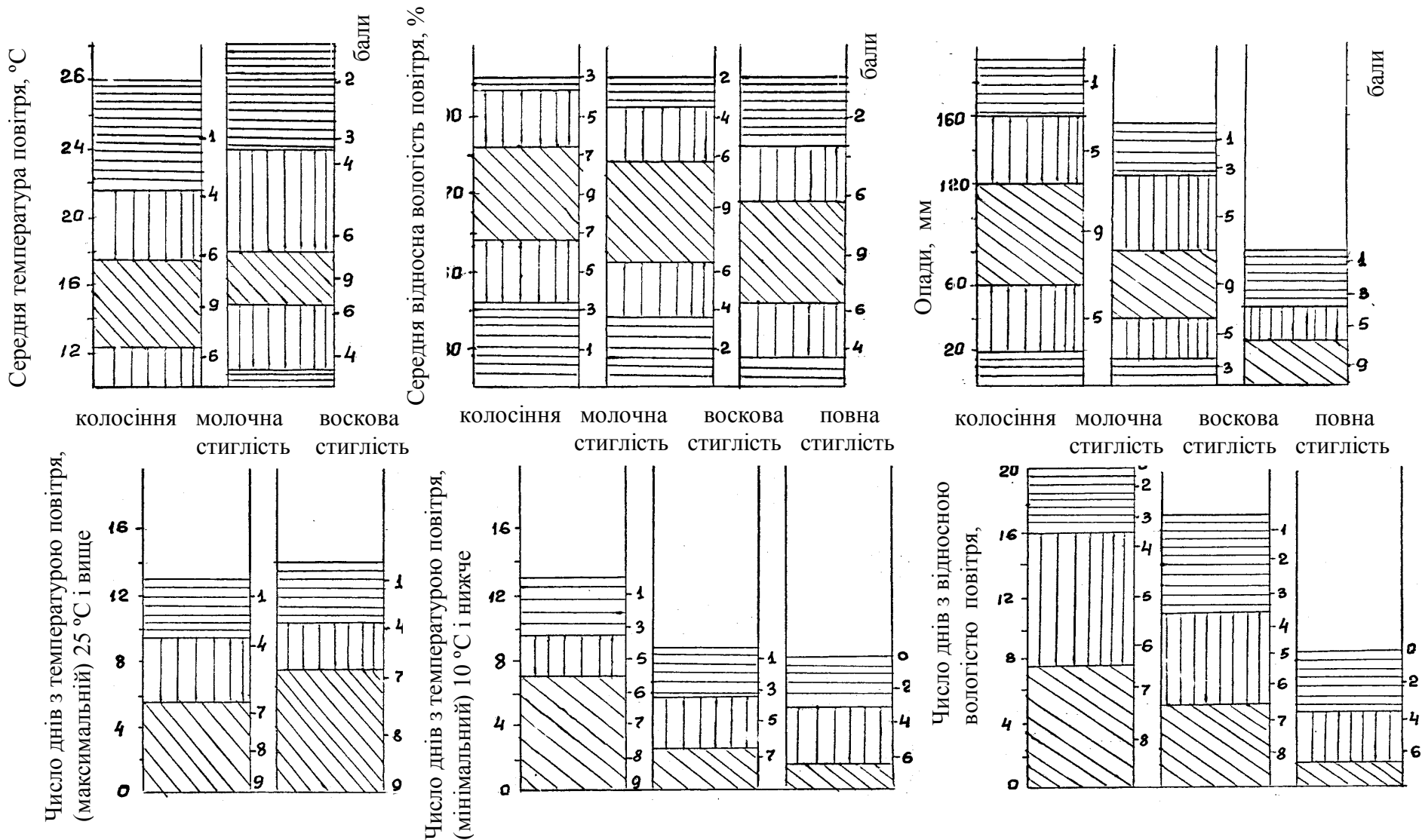

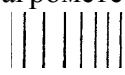
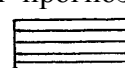


Рис.3.4 – Номограма оперативної оцінки агрометеорологічних умов для прогнозу врожайних властивостей зерна озимої пшениці .

 – підвищений     
  – середній     
  – знижений

### 3.3.3 Агрометеорологічні умови накопичення цукру у цукрових буряках

На вміст цукру у коренеплодах цукрових буряків впливають ґрунтово-кліматичні та погодні умови, агротехніка та культура землеробства (догляд за посівами, термін та якість збирання, тривалість періоду збирання коренеплодів, тривалість зберігання до початку переробки, виведення нових сортів, внесення добрив).

Дослідженнями М.І. Орловського [3] було встановлено, що вміст цукру у коренеплодах тим більший, чим більше зберігається старе листя наприкінці вегетації та чим менше утворюється нових листків восени.

При в'янненні листя процес фотосинтезу уповільнюється і через те уповільнюється накопичення цукру. При вирощуванні цукрових буряків інколи складаються такі умови, за яких відбувається інтенсивний ріст коренеплоду, але накопичення цукру залишається незначним. Буває і навпаки, накопичення цукру відбувається інтенсивно, а приріст коренеплоду дуже незначний. Такі умови спостерігаються за ясної теплої погоди при недостатньому зволоженні ґрунту. Надмірне зволоження спричиняє зменшення вмісту цукру в буряках.

Дослідження впливу запасів продуктивної вологи у ґрунті на вміст цукру в коренеплодах показало, що зменшення цукру спостерігається як при значних запасах продуктивної вологи, так і при їх недостатній кількості. Якщо у період інтенсивного накопичення цукру запаси вологи в ґрунті більше 160 мм, вміст цукру зменшується на 15 %. Найбільший вміст цукру спостерігається при запасах вологи 60мм у метровому шарі ґрунту. Запаси вологи шару 0 – 50 см на вміст цукру впливають мало.

Дослідженнями О.М. Конторщикової встановлено, що для оцінки умов накопичення цукру краще користуватись величиною вологозабезпеченості, особливо це стосується останніх років [3].

Важливим фактором накопичення цукру в коренеплодах є кількість надходження сонячної радіації. За доброї вологозабезпеченості посівів зв'язок вмісту цукру ( $y$ ) з приходом сонячної радіації за період накопичення цукру ( $S$ ) характеризується високим значенням коефіцієнта кореляції

$$\begin{aligned} Y &= 0,23S + 14, \\ r &= 0,72 + 0,03. \end{aligned} \tag{3.103}$$

Величина приходу сонячної радіації розраховується за формулою С.І. Сивкова .

Але слід відзначити, що не в усіх природно-кліматичних зонах залежність накопичення цукру від приходу сонячної радіації характеризується високим значенням коефіцієнта кореляції. Для Донецько-

Придніпровського та Південно-Західного економічних районів цей зв'язок значно слабший. Причини погіршення тісноти зв'язку у цих районах різні. На території Донецько-Придніпровського району вологозабезпеченість посівів у період від 20 липня по 20 вересня буває низькою.

У Південно-Західному економічному районі, навпаки, дуже часто бувають випадки перезволоження ґрунту, яке зменшує вміст цукру у коренеплодах.

Слід зазначити, що на переважній більшості території вирощування цукрових буряків вологозабезпеченість у 80 % років у період з 20 липня по 20 вересня буває недостатньою (50 – 60 % від оптимальної).

О.М. Конторщикова визначила графічну залежність вмісту цукру від вологозабезпеченості посівів та надходження сонячної радіації за період з 1 серпня по 20 вересня для основних районів вирощування цукрових буряків (рис. 3.5 а, б, в).

На території України умови накопичення цукру оцінюються за такими градаціями:

- дуже добрі, вміст цукру більше 18%;
- добрі, вміст цукру 17 – 18%, вологозабезпеченість 50 – 80 % від оптимальної, сума прямої сонячної радіації від 12,5 до 14,5 ккал/см<sup>2</sup>;
- задовільні, вміст цукру становить 16 %, вологозабезпеченість 7 – 100 %, сума прямої радіації від 10,5 до 12,5 ккал/см<sup>2</sup>;
- погані умови, вміст цукру менше 15 %, вологозабезпеченість оптимальна, пряма сонячна радіація менше 11,5 ккал/см<sup>2</sup>.

Для чорноземних областей Росії показники вологозабезпеченості та прямої сонячної радіації будуть дещо нижчі (див. рис. 3.5, а).

У Південно-Західному економічному районі оцінку умов накопичення цукру краще виконувати не за показниками вологозабезпеченості, а за значеннями запасів продуктивної вологи. Встановлено (рис. 3.5), що найкращі умови для доброго накопичення цукру складаються при запасах продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту не менше 50 мм і не більше 110 мм, та сумі прямої сонячної радіації більше 13 ккал/см<sup>2</sup>. Добрі умови складаються при запасах вологи не менше 40 та не більше 130 мм і сумі прямої радіації вище 11 ккал/см<sup>2</sup>. Незадовільні умови для накопичення цукру складаються при запасах вологи більше 170 мм і сумі прямої радіації менше 10 ккал/см<sup>2</sup>.

На якості продукції сільськогосподарських рослин також позначається вміст у рослині мінеральних елементів, основних органічних сполук (білки, вуглеводи, вітаміни, гормони, ферменти) та інших компонентів, що в свою чергу залежить від раціональності застосування добрив. Останні, впливаючи на ці процеси, також визначають цінність

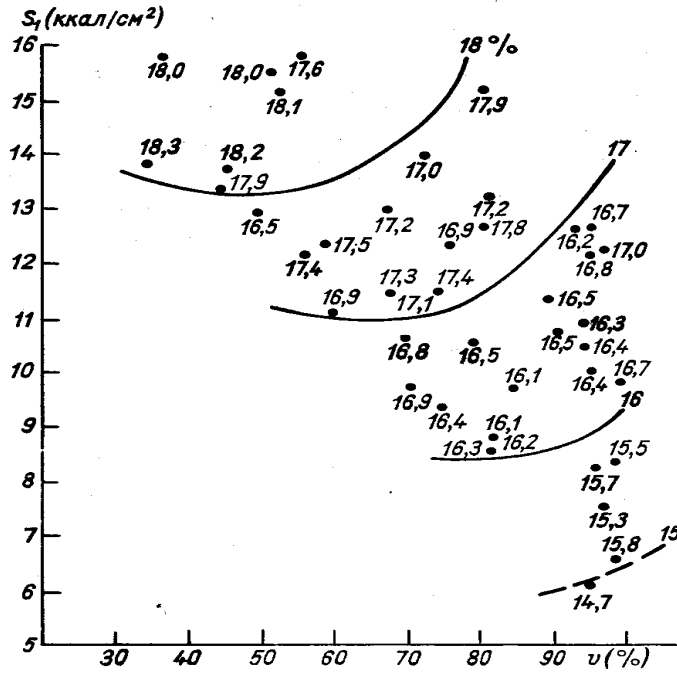


Рис. 3.5 – а) Залежність накопичення цукру в цукрових буряках до кінця вегетації від прямої сонячної радіації ( $S_1$ ) і вологозабезпеченості посівів ( $v$ ) за період інтенсивного накопичення цукру для центральної чорноземної зони (в середньому по області).

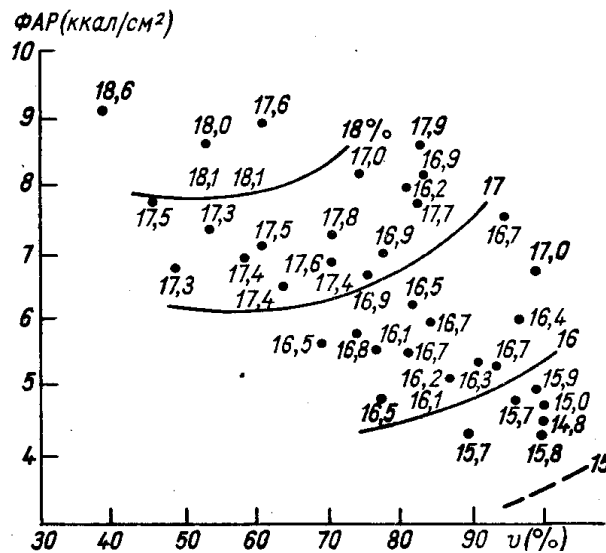


Рис. 3.5. – б) Залежність накопичення цукру в цукрових буряках до кінця вегетації від суми фотосинтетично активної радіації (ФАР) і вологозабезпеченості посівів ( $v$ ) за період інтенсивного накопичення цукру для центральної чорноземної зони (в середньому по області).



продукції тваринництва для харчування людини. Наприклад, зелена маса, в якій міститься недостатня кількість каротину, спричиняє нестачу вітаміну А в молоці корів, що призводить до неповноцінності продуктів харчування людини. Для оцінки біологічної якості рослинних продуктів за поживністю необхідно враховувати їхній вплив на обмін речовин у тварин через забезпечення енергетично цінними продуктами з достатнім вмістом протеїну, вітамінів, мінеральних речовин тощо. Крім того, на неї діють фактори, які порушують метаболізм живих організмів і погіршують їхнє здоров'я. Отже, добрива значною мірою впливають на склад рослин та здоров'я людей чи тварин, що їх споживають. Наслідками, які шкідливо позначаються на здоров'ї живих організмів через застосування добрив, є:

1. Надлишок нітратів у рослинах внаслідок внесення підвищених доз азотних добрив (120 кг і більше азоту на 1 га). Їхній вміст у сухій речовині може зростати від 23 до 601 мг/кг і більше.
2. Порушення рівноваги мінеральних елементів у рослині, наприклад, високий вміст калію за низького магнію і натрію — одна із причин пасовищної титанії.
3. Нестача в рослині будь-якого мінерального елемента, що може викликати тяжкі захворювання. Так, нестача фосфору призводить до стерильності тварин.
4. Низький вміст у рослинах вітамінів. Тварини, яким згодовують бідну на вітаміни зелену масу, хворіють на гіповітаміноз та інші захворювання.

На зв'язок між біологічною якістю продукції й здоров'ям живих організмів впливають також антиметаболіти, які є в рослинах (або у продуктах тваринництва). Вони можуть діяти повільно чи миттєво. Відомо, що нестача фосфатів у ґрунті спричиняє утворення деякими рослинами (наприклад, конюшиною) надлишкової кількості ізофлавіну — статевого гормону, який дуже шкідливий для тварин. За підрахунками вчених, за останні сто років у складі продуктів харчування відбулися істотні зміни. Так, у чотири рази підвищився вміст калію, більш як у два рази — фосфорної кислоти, знизився вдвоє — магнію, в шість разів — натрію.

Специфічною властивістю біологічно цінної продукції є її захисний ефект. Добрива можуть змінювати рівень деяких речовин, які виконують захисну функцію в організмі людини від речовин, що спричиняють захворювання. Життя людини — постійний обмін речовин. У водному, мінеральному, пластичному обмінах важлива роль належить продукції рослинництва. Близько 50% поживних речовин витрачається на одержання енергії в організмі, решта — для росту і розвитку. Організм людини містить близько 20% білка, 65 — води, 10 — жирів і жироподібних речовин, 4 —

мінеральних сполук, 1% вуглеводів. Кількість жиру може зростати вдвічі. Оптимальне співвідношення поживних елементів у раціоні людини таке: вуглеводи — 55, жири — 30, білки — 15%. Норма білка на добу становить 100 г, при підвищенні інтенсивності праці вона зростає до 130—160 г. Потреба в жирах — 70—100 г на добу, в умовах холодного клімату — 150—160 г. Добова потреба в кальції — 0,7—0,8 г (для організму, що росте і розвивається, — 1 г), у фосфорі >1,5г. Солі необхідно 10—15 г, при важкій фізичній праці й занятті спортом — 20-25 г. Харчування має такі функції: формування організму; вироблення тепла; виконання механічної роботи.

Продукти харчування поділяють на:

- ❖ будівельні матеріали (білки, вода, жири, мінеральні речовини);
- ❖ енергоносії (вуглеводи, жири);
- ❖ біологічно активні речовини (вітаміни, мікроелементи, мінеральні солі);
- ❖ супровідні речовини (клітковина);
- ❖ смакові, ароматичні, барвні речовини.

#### Функції білків:

- ❖ *структурна* (білки становлять 18—21 % загальної “сирої” й 45-50 % сухої маси організму людини. Найбільша кількість білків у легенях, селезінці, нирках, м'язах. Вони беруть участь в утворенні мембранних структур, мітохондрій, рибосом, цитоплазми);
- ❖ *каталітична* (всі ферменти як біологічні каталізатори, що зумовлюють хімічні реакції в організмі, мають білкову природу. Нині відомо близько 2000 ферментативно активних білків);
- ❖ *гормональна* (значна кількість гормонів є білками або продуктами білкового обміну. Зокрема, це інсулін, тетелін, адренкортикотропний гормон, окситоцин). Гормони беруть участь у регуляції активності ферментів, діють на процеси трансляції й транскрипції);
- ❖ *транспортна* (необхідні для життєдіяльності речовини транспортуються з потоком крові сполуками білкової природи, зокрема, це білок хромопротеїдного типу гемоглобін. Транспорт ліпідів і жиророзчинних вітамінів здійснюється ліпопротеїдами);
- ❖ *захисна* (відбувається в основному за участю білків-глобулінів, з якими пов'язані імунні реакції організму. Антитіла, що утворюються в організмі при несприятливій дії на нього різних факторів, мають білкову природу);
- ❖ *механічна* (білки беруть участь у різних формах механічного руху — скороченні й розслабленні м'язів, роботі серця, легень, шлунка. Ці процеси здійснюються за рахунок таких білків, як актин, міозин, тропоміозин);

- ❖ *енергетична* (білки є важливим джерелом енергії; при розщепленні 1 г виділяється 17,7 кДж енергії).

Залежно від розчинності протеїни поділяються на такі групи: Альбуміни - група білків, які розчиняються у воді. Відомі лейкозини зерна пшениці, жита та ячменю, легумеліни насіння гороху і сої, рицин насіння рицини. Глобуліни - дуже поширена група білків, що не розчиняються у воді, а розчинні в слабких розчинах нейтральних солей (у 10%-му розчині NaCl або KCl). Прикладами глобулінів є фазеолін насіння квасолі, гліцидин насіння сої, віцилін гороху, едестин насіння конопель, туберин бульб картоплі. Проламіни - група простих білків з характерним складом амінокислот. Вони відзначаються високим вмістом діаміномонокарбонових кислот (50-80%). Їхні розчини мають лужні властивості (лужність вища, ніж у гістонів). Гістони - лужні білки, які містять 20-35% лужних амінокислот (26% аргініну, 8 -10% лізину). Гліадини - не розчинні у воді, але розчинні в 70%-му етиловому спирті. Їх виявлено тільки в зерні злаків. Відомі гліадини зерна озимої пшениці (становлять основну частку "сирої" клейковини) та жита, зеїн - кукурудзи, авенін - вівса, орозеїн - рису та гордеїн - ячменю. Глютеліни - група білків рослинного походження, що не розчиняються у воді та розчинах нейтральних солей, але розчиняються в слабких лужних розчинах. До їхнього складу входить значна кількість глютамінової кислоти. Глютелін озимої пшениці називають глютеніном. Жири (ліпіди), жироподібні речовини (ліпоїди) — це органічні сполуки тваринного і рослинного походження, різні за хімічним складом, будовою, фізіологічною та біохімічною функціями. Спільною їх властивістю є нерозчинність у воді й здатність розчинятись в органічних розчинниках (спирт, ефір, хлороформ, ацетон). За хімічним складом жири — складні ефіри гліцерину і вищих жирних кислот (пальмітинова, стеаринова, олеїнова, лінолева, ліноленова та ін).

#### Біологічна роль ліпідів в організмі:

- входять до складу клітин як пластичний матеріал у вигляді ліпопротоїдів і гліколіпідів;
- входять до складу клітинних мембран та мітохондрій; ліпіди мембран беруть участь у процесах транспорту молекул та іонів, у передачі нервових імпульсів;
- виконання енергетичної функції, за рахунок жирів на 25—35 % задовольняється добова потреба людини в енергії;
- субстрат для утворення біологічно активних речовин в організмі (вітаміни А і D, статеві гормони, жовчні кислоти);
- механічна і термоізоляційна функції.

#### Функцій вуглеводів:



- виступають провідним джерелом енергії та важливим резервним енергетичним фондом (в організмі людини — це глікоген);
- забезпечують 60—70 % добової енергетичної потреби раціону;
- глюкоза — основне енергетичне джерело головного мозку;
- пластична (структурна) функція;
- опорна функція (входять до складу основної речовини кісткової та сполучної тканин);
- забезпечують перебіг осмотичних процесів;
- підтримують сталість внутрішньоклітинного середовища (гомеостаз); знешкоджують токсичні продукти обміну;
- беруть участь у синтезі біополімерів, глікопротеїдів, гліколіпідів, глікопептидів, необхідні для імунних реакцій організму, проникності мембран;
- виступають запасними речовинами (крохмаль).

Для організму потрібні й інші речовини, такі як вітаміни. Нині їх відомо понад 20 і за розчинністю вони поділяються: вітаміни групи В, а також С належать до групи розчинних у воді, а вітаміни А, D, К та Е — до розчинних у жирах (ліповітаміни). За відсутності їх у раціоні (авітаміноз) спостерігаються дуже серйозні розлади функцій як окремих органів, так і організму в цілому. Слід зазначити, що засвоєння чи дія вітаміну залежить від наявності інших. Надлишок чи нестача одного з них порушує використання інших. Для організму дуже важлива збалансована кількість усіх вітамінів. Це стимулює обмінні процеси, функції залоз внутрішньої секреції та продукування гормонів.

### 3.4 Практичні заняття

**3.4.1** Розрахувати *ККД* кукурудзи в період листоутворення,

якщо:  $q = 17,6$  кДж/г;  $U = 0,286$  г/см<sup>2</sup>;  $Q = 464,6$  МДж/м<sup>2</sup>.

**3.4.2** Розрахувати чисту продуктивність фотосинтезу за декаду якщо маса рослин на початку декади становила 232 г/м<sup>2</sup>, наприкінці декади - 246 г/м<sup>2</sup>, площа листя відповідно 3,9 та 5,9 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, кількість днів у декаді -10.

**3.4.3** Розрахувати вміст білка та клейковини в зерні озимої пшениці у Київській області. Розрахунки проводити за даними табл. 3.8 (А,Б,В). Для цього визначити середні по області запаси продуктивної вологи, суму максимальних температур, суму мінімальних температур, середню амплітуду температури, середню температуру повітря, дефіцит насичення.

**3.4.4** Розрахувати вміст цукру в коренеплодах цукрових буряків. Розрахунки виконувати за даними табл. 3.9

Таблиця 3.8 –А) Розрахунок вмісту білка та клейковини в зерні озимої пшениці сорту "Миронівська 808" по Одеській області

Метеорологічна станція, пост	Період від відновлення вегетації до стійкого переходу температури повітря через 10 °С							
	початок періоду	кінець періоду	трива-лість періоду, дні	сума максималн. температур, °С	сума мінімалн. температур, °С	різниця сум макс. та мінім. температур, °С	середня амплітуда температури повітря, °С	запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Любашівка	31.03	30.04						119
Затишся	31.03	30.04						120
Сербка	04.04	30.04						180
Роздільна	04.04	30.04						211
Одеса	31.03	30.04						127
Сарата	04.04	01.05						152
Болград	31.03	01.05						166
Базарянка	02.04	30.04						156
Тузли	18.03	29.04						94
Ізмаїл	04.04	29.04						103
Сума								
Середнє								

Продовження таблиці 3.8 – Б)

Метеорологічна станція, пост	Період від стійкого переходу температури повітря через 10 °С до масового колосіння				Період від колосіння до воскової стиглості				
	Дата масового колосіння	тривалість періоду, дні	сума дефіцитів насичення повітря, Мб	середній дефіцит насичення повітря, мб	кількість колосонних стебел на 1 м <sup>2</sup>	дата воскової стиглості	тривалість періоду, дні	сума температур, °С	середня температура повітря, °С
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Любашівка	12.06		256		620	20.07			
Затишшя	18.06		286		1607	28.07			
Сербка	14.06		332		539	20.07			
Роздільна	18.06		334		791	22.07			
Одеса	10.06		284		686	18.07			
Сарата	14.06		387		544	18.07			
Болград	08.06		284		952	22.07			
Базарянка	10.06		319		462	18.07			
Тузли	14.06		252		546	12.07			
Ізмаїл	04.06		272		1337	12.07			
Сума									
Середнє									

Продовження таблиці – 3.8 В)

	Температура повітря, °С																				
	березень			квітень			травень			червень			липень								
	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1							
Любашівка																					
Затишшя																					
Сербка																					
Роздільна																					
Одеса																					
Сарата																					
Болград																					
Базарянка																					
Тузли																					
Ізмаїл																					
	Максимальна температура повітря, °С									Мінімальна температура повітря, °С											
	квітень			травень			червень			квітень			травень			червень			липень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
Любашівка																					
Затишшя																					
Сербка																					
Роздільна																					
Одеса																					
Сарата																					
Болград																					
Базарянка																					
Тузли																					
Ізмаїл																					

Таблиця 3.9 - Розрахунок вологозабезпеченості посівів і накопичення цукру в цукрових буряках до кінця вегетації

Показники	Травень			Червень			Липень			Серпень			Вересень	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Середня декадна температура повітря, °С														
в поточному році	10,3	14,7	15,2	16,8	19,3	19,2	17,4	18,4	–	–	–	–	–	–
за нормою	9,2	12,7	14,4	15,8	17,2	18,1	19,1	20,3	20,8	21,0	20,4	19,1	16,8	14,5
за прогнозом	–	–	–	–	–	–	–	–	19	18	20	18	14	13
Сума температур за прогнозом, °С	–	–	–	–	–	–	–	–	209	389	589	787	927	1057
Сума опадів у поточному році за прогнозом (х)	29	19	28	13	2	13	77	6	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	18	17	16	15	15	15
Сума середньо добового дефіциту насичення вологості повітря, Мб	52	85	69	92	117	90	60	57	–	–	–	–	–	–
Мм	38	60	52	69	88	68	45	43	–	–	–	–	–	–
Коефіцієнт для визначення потреби цукрових буряків у волозі	0,22	0,26	0,31	0,39	0,49	0,65	0,72	0,80	–	–	–	–	–	–
Сумарне випарування, мм фактичне	22	36	36	32	32	32	34	22	–	–	–	–	–	–
прогнозоване (Е)	–	–	–	–	–	–	–	–	33	31	30	27	23	18

Продовження табл. 3.9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Потреба цукрових буряків у волозі, мм	8	16	16	27	43	44	32	34	–	–	–	–	–	–
Запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 – 100 см за період, мм														
минулий (W)	–	175	167	148	118	99	142	118	–	–	–	–	–	–
прогнозований (W)	–	–	–	–	–	–	–	–	103	90	80	71	62	67
Вологозабезпеченість посівів за декаду, %	100	100	100	100	75	73	100	94	–	–	–	–	–	–
Сума процентів вологозабезпеченості наростаючим підсумком		200	300	400	475	548	648	742	–	–	–	–	–	–
Середня вологозабезпеченість (в % посівів за минулий період вегетації)		100	100	100	95	91	92	92	–	–	–	–	–	–

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: Издательство МГУ, 1986. – 244с.
2. Дмитренко В.П. О методике оценки гидрометеорологических условий формирования урожая сельскохозяйственных культур. // Тр. УкрНИГМИ, 1973. –Вып.128. С. 3-23.
3. Конторщикова О.М. Методическое пособие по составлению прогноза средней областной урожайности и сахаристости свеклы в основных районах ее возделывания. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 26 с.
4. Константинов А.Р., Зоидзе Е.К., Смирнов С.И. Погода, почвы и урожай озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 263с.
5. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 271с.
6. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 281с.
7. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. - Москва: ДРОФА, 2010. - 640 с.
8. Киндрук Н.О. Методические указания по составлению прогноза урожайных качеств семян озимой пшеницы.- Издательство СГИ. Одесса, 1989.- 15с.
9. Левенко И.Т. Схема расчета показателей качества зерна озимой пшеницы. //Тр. УкрНИГМИ, 1970.- Вып.105. С.9 – 17.
10. Мищенко З.А. Агроклиматология. – Киев.: КНТ, 2010. - 512 с.
11. Моделирование продуктивности агроэкосистем //Н.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковский, И.Г. Мушкин, С.В. Нерпин, Р.А. Полуэктов, И.Б. Усков. – Л.: Гидрометеоздат, 1986. – 320с.
12. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение – почва – воздух. – Л.: Гидрометеоздат, 1975. – 357с.
13. Платонов В.А., Чудновский А.Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 279с.
14. Польовий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М., Ярмольська О.Є. Практикум з сільськогосподарської метеорології. – Одеса: ТЕС, 2002. – 400 с.
15. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроекосистем. – Київ : КНТ, 2007. – 344 с.
16. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 318с.
17. Полевой А.Н. Сельскохозяйственная метеорология. – Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 1992. -424 с.
18. Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов. Т. 1 и 2. – Л.: Гидрометеоздат, 1984.

19. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167с.
20. Страшный В.Н. Методическое указание по прогнозированию качества зерна озимой пшеницы. – М.: Гидрометеиздат, 1987. -14 с.
21. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264с.
22. Устойчивость зерновых культур к факторам среды /Под ред. В.С. Шевелухи. – Минск: Ураджай, 1978. – 191с.
23. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 144с.
24. Франс Дж., Торнли Дж. Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 309с.
25. Шульгин И.А. Растение и солнце. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 251с.



## З М І С Т

		Стор.
	Передмова .....	3
1	Біологічні основи формування урожаїв сільськогосподарських культур .....	5
	1.1 Поняття про агроecosystemу і систему ґрунт – рослина – атмосфера.....	5
	1.2 Радіаційний і тепловий режим рослинного покриву...	8
	1.2.1 Радіаційний режим рослинного покриву .....	8
	1.2.2 Тепловий баланс рослинного покриву .....	14
	1.2.3 Температура повітря в рослинному покриві .....	17
	1.3 Водний режим системи ґрунт – рослина – атмосфера ..	25
	1.3.1 Пересування вологи в ґрунті. Визначення водного потенціалу.....	27
	1.3.2 Розрахунок залежності ґрунтової вологи від основних метеорологічних факторів і міри зволоження ґрунту .....	30
	1.4 Практичні заняття.....	32
	1.4.1 Розрахунок вологопровідності ґрунту та водного потенціалу ґрунту .....	32
	1.4.2 Розрахунок інтенсивності ФАР в посіві .....	33
2	Агрометеорологічні умови і найважливіші процеси життєдіяльності рослин.....	36
	2.1 Агрометеорологічні умови і онтогенез вищих рослин.	36
	2.2 Екологічні фактори існування рослин .....	37
	2.2.1 Температура повітря.....	40
	2.3 Світло.....	54
	2.4 Волога.....	55
	2.5 Агрометеорологічні умови і вуглецевий обмін рослин	68
	2.6 Агрометеорологічні умови і обмін мінеральних речовин.....	70
	2.7 Практичні заняття.....	87
	2.7.1 Визначення статистичних характеристик.....	87
	2.7.2 Визначення сум активних та ефективних температур	89
	2.7.3 Розрахунок ефективності добрив для сільськогосподарських культур.....	90
3	Агрометеорологічні умови і формування кількості та якості урожаю .....	91

3.1 Загальна характеристика продуктивного процесу .....	91
3.2 Агрометеорологічні умови і продуктивність рослин .....	108
3.2.1 Оцінка часової мінливості врожаїв сільськогосподарських культур .....	108
3.2.2 Оцінка впливу високих температур на формування продуктивності ярої пшениці .....	114
3.2.3 Агрометеорологічні умови формування різних агроecологічних категорій врожайності.....	123
3.3 Агрометеорологічні умови формування якості врожаїв сільськогосподарських культур .....	127
3.3.1 Агрометеорологічні умови формування якості зерна озимої пшениці .....	127
3.3.2 Агрометеорологічні умови формування властивостей зерна озимої пшениці.....	131
3.3.3 Агрометеорологічні умови накопичення цукру у цукрових буряках .....	137
3.4 Практичні заняття .....	144
3.4.1 Розрахунок ККД .....	144
3.4.2 Розрахунок фотосинтезу .....	144
3.4.3 Розрахунок вмісту білка та клейковини в зерні озимої пшениці .....	144
3.4.4 Розрахунок вмісту цукру в цукровому буряку .....	144
Список літератури .....	150

**Bozhko L.Yu. Zhygailo O.L.**

Б 76 Biological Fundamentals of Yield Rate and Quality: Textbook. – Odessa, 2012. – 154 p.

Outcomes of research into the Biological Fundamentals of Yield Rate and Quality based on the theory of energy and mass transfer in the soil – plant – atmosphere system is under consideration in the textbook as well as the impact of environmental factors on growth, development and productivity of crops and their quality from the perspective of the quantitative theory for photosynthesis.

The publication is prepared within the framework of 511390-TEMPUS-1-2010-1-SK-TEMPUS-JPCR ‘Environmental Governance for Environmental Curricula’ EC TEMPUS IV project and is intended for the use of students and post-graduate students of hydrometeorological and environmental directions of studies, researchers and specialists working in the field of Agricultural Meteorology, Environmental Science and Agriculture.

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

**ББК 41.47**  
**УДК 631.55**

*Навчальне видання*

**Божко Людмила Юхимівна**  
**Жигайло Олена Леонідівна**

**Біологічні основи формування кількості та якості  
врожаю**

Конспект лекцій

Надруковано з готового оригінал-макета

Підп. до друку                      Формат 60x84/16    Папір офс.  
Умовн. друк. арк.                      Тираж                      Зам. №

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

---