МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПОЛЬОВИЙ А.М., БОЖКО Л.Ю.,
СИТОВ В.М., ЯРМОЛЬСЬКА О.Є.

ПРАКТИКУМ З СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МЕТЕОРОЛОГІЇ

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних
закладів освіти

Одеса, 2002

УДК 63:551.5
ББК 40.2
П 69

Польовий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М.,
Ярмольська О.Є. Пратикум з сільськогосподарської метеорології. – Одеса, 2001. – 400 с.

В навчальному посібнику викладено матеріал з практичних розрахунків та спостережень з сільськогосподарської метеорології. Наведені основні методи визначення характеристик гідрометео-рологічного режиму рослинно-грунтового покриву та їх впливу на показники фотосинтетичної продуктивності рослин. Приводяться розрахункові методики кількісної оцінки впливу агрометео-рологічних умов на ріст, розвиток і формування врожаю. Всі методики ілюструються прикладами.

Навчальний посібник розраховано на студентів, магістрів, аспірантів гідрометеорологічного профілю, він може бути корисним для студентів сільськогосподарських вузів, а також для спеціалістів, які працюють в галузі гідрометеорологічного забезпечення сільського господарства.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України лист №14/182 – 343 від 15.02.02.

Рецензенти:

М.І. Кульбіда, директор Українського Гідрометеорологічного центру

В.Я. Щербаков, зав. кафедрою рослинництва Одеського сільськогосподарського інституту, доктор сільськогосподарської науки, професор

ISBN 966-7654-57-5

© Одеський державний екологічний університет

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:

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

$$L_o = \int_0^{z_o} u_L(z)\,\mathrm{d}\,z \tag{1.1}$$

3. Відносної площі листя вище заданого рівня z

$$L(z) = \int_z^{z_o} u_L(z')\,\mathrm{d}\,z', \tag{1.2}$$

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;

θ_L – кут похилу нормалі листка, який відраховується від вертикальної осі;

φ_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 грунт-рослина-атмосфера. Сонячна радіація вступає у взаємодію з РП та під впливом цієї взаємодії значно змінюється. Ці зміни залежать від висоти Сонця ($h_{O)}$, геометричної

структури посівів, від виду РП та спектрального складу фотосинтетичної активної радіації (ФАР).

1.1 Пропускання сонячної радіації рослинним покривом

Промениста енергія Сонця є джерелом усіх біофізичних і фізіологічних процесів, які відбуваються в системі грунт-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 0,29-0,38мкм;
2) фотосинтетично активна радіація (ФАР) з довжиною хвиль від 0,38 до 0,71 мкм;
3) близька інфрачервона радіація (БІЧР) з довжиною хвиль від 0,71 до 4,0 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 біля 70% перетворюється в 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 біля 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

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

б) для розсіяної радіації

$$a_\phi(L, h_0) = \frac{D(L, h_0)}{D_o(h_0)} \qquad (1.4)$$

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. *Альбедо* – це відношення відбитого від РП потоку до падаючого на нього. Альбедо сумарної радіації:

$$A_k(L,h_o) = \frac{R_k(L,h_o)}{Q_o(h_o)} \qquad (1.5)$$

Напрямок вниз мають потоки тієї частини прямої і розсіяної радіації, що розсіюються елементами РП, відповідно $S'^{н}(L,h_o)$ і $D^{н}(L,h_o)$, та характеризуються коефіцієнтами $\alpha_S^{н}(L,h_o)$ і $\alpha_D^{н}(L,h_o)$.

Величина

$$\alpha_Q(L,h_o) = \frac{Q(L,h_o)}{Q_o(h_o)} = \\ = \frac{S'(L,h_o) + D(L,h_o) + S'^{н}(L,h_o) + D^{н}(L,h_o)}{S'_o(h_o) + D_o(h_o)} \qquad (1.6)$$

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.

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

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.

1.1.1 Розрахунок *Q* за тривалістю сонячного сяйва

Тривалість сонячного сяйва, отримана 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:

$$Q = 12{,}66(SS^{j})^{1{,}31} + 315(\sin h_{o}^{j})^{2{,}1}, \qquad (1.8)$$

де SS – тривалість сонячного сяйва за добу, кал ·см$^{-2}$·доб$^{-1}$;

h_o – полуденна висота Сонця, град.

Розрахунок $\sin h_o$ здійснюється за допомогою виразів:

$$\sin h_{o}^{j} = A^{j+B}; \qquad (1.9)$$

$$A^{j} = \sin\varphi \cdot \sin\delta^{j}; \qquad (1.10)$$

$$B = \cos\varphi \cdot \cos\delta^{j}, \qquad (1.11)$$

де φ – географічна широта місця, град;

δ – нахил Сонця, град.

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

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

де t^{j} – порядковий номер доби, за яку розраховується δ^{j}, починаючи з 20 березня. (Для наведеного прикладу нахил Сонця визначається з додатку 1).

1.1.2 Розрахунок *Q* за даними спостережень за хмарністю

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:

$$Q^{j} = Q_{o}^{j}\left[1 - c_{н}n_{н} - c_{св}(n - n_{н})\right], \qquad (1.13)$$

де Q_{o}^{j} – сумарна радіація за ясного неба, кал·см$^{-2}$ ·доб$^{-1}$;

$c_{н}$=0,72 – коефіцієнт для хмар нижнього ярусу, безрозмірний;

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

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

Значення Q_o розраховується згідно з формулою Сівкова (*1.8*). При цьому приймається, що тривалість сонячного сяйва за ясного неба визначається тривалістю дня τ_d , тобто тривалістю періоду від сходу до заходу Сонця:

$$\tau_d = \tau_з^j - \tau_c^j \qquad (1.14)$$

Час сходу τ_c і заходу $\tau_з$ визначається в залежності від географічної широти місця і нахилу Сонця з формул:

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

$$\tau_c = 24 - \tau_з^j \qquad (1.16)$$

1.1.3 Розрахунок фотосинтетично активної радіації на верхній межі посіву

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 τ_d :

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

де J_o^j – інтенсивність ФАР на верхній межі посіву, кал· см$^{-2}$ ·хв$^{-1}$;

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

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

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

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

де $\sum J_o^j$ – сумарна ФАР на верхній межі посіву за добу, кал·см$^{-2}$·доб$^{-1}$;

S', D –добові величини відповідно прямої і розсіяної радіації на верхній межі посіву, кал·см$^{-2}$·доб$^{-1}$.

Інтенсивність ФАР при цьому визначається із виразу:

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

1.1.4 Розрахунок інтенсивності ФАР в посіві

При проникненні ФАР всередину рослинного покриву проходить зменшення її інтенсивності в залежності від висоти рослинного покриву, кутової орієнтації листя, розподілу гущини рослинного покриву щодо вертикалі, товщини і форми листя 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 листя рослин, тобто відносною площею листя (листковим індексом) [1]:

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

де J^j – інтенсивність ФАР в посіві, кал·см$^{-2}$·хв$^{-1}$;

L – відносна площа листя, м^2·м$^{-2}$;

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

Приклад:

1) За даними про тривалість сонячного сяйва і відносної площі листя озимої пшениці (*табл.1.1*) розрахувати інтенсивність ФАР у посіві за кожну добу декади.

2) За даними спостережень за хмарністю і відносною площею листя кукурудзи (*табл.1.2*) розрахувати інтенсивність ФАР у посіві.
3) За даними актинометричних спостережень (*табл.1.3*) розрахувати сумарний приплив ФАР за період вегетації картоплі.

Таблиця 1.1 – **Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з озимою пшеницею (за декаду)**

Квітень, 2 декада, ст. Сербка

Дата	L, $m^2 \cdot m^{-2}$	SS, год.	Q, кал·см$^{-2}$·доб$^{-1}$	δ, град	τ_d, год.	J_o, кал·см$^{-2}$·хв$^{-1}$	J, кал·см$^{-2}$·хв$^{-1}$
11.04	0,83	5,8	265,7	0,316	14,0	0,158	0,103
12.04	0,86	12,0	470,1	0,330	14,1	0,278	0,178
13.04	0,91	13,3	517,5	0,323	14,2	0,304	0,191
14.04	0,97	3,8	214,7	0,328	14,5	0,123	0,075
15.04	1,00	3,5	207,2	0,332	14,7	0,117	0,071
16.04	1,05	9,5	383,6	0,336	15,0	0,213	0,127
17.04	1,06	5,7	265,7	0,338	15,1	0,147	0,087
18.04	1,09	7,5	319,2	0,342	15,2	0,175	0,102
19.04	1,12	7,7	325,4	0,346	15,2	0,178	0,103
20.04	1,16	13,4	521,2	0,350	15,3	0,284	0,162

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

Таблиця 1.2 – **Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з кукурудзою (за декаду)**

Липень, 2 декада, ст. Сарата

Дата	L, $m^2 \cdot m^{-2}$	n	$n_н$	Q, кал·см$^{-2}$·доб$^{-1}$	δ, град	τ_d, год.	J_o, кал·см$^{-2}$·хв$^{-1}$	J, кал·см$^{-2}$·хв$^{-1}$
11.07	1,82	0,5	0,7	156,8	0,316	14,0	0,093	0,079
12.07	1,85	0,7	1,0	197,4	0,330	14,1	0,117	0,097
13.07	1.88	0,0	0,7	414,0	0,323	14,2	0,486	0,398
14.07	1,94	0,6	0,7	116,0	0,328	14,5	0,133	0,105
15.07	1,96	0,7	0,7	103,6	0,332	14,7	0,117	0,092
16.07	2,05	0,3	0,4	287,7	0,336	15,0	0,320	0,240
17.07	2,08	0,3	0,6	186,0	0,338	15,1	0,205	0,152
18.07	2,11	0,6	1,0	148,7	0,342	15,2	0,163	0,119
19.07	2,19	0,0	0,6	273,3	0,346	15,2	0,230	0,162
20.07	2,25	0,4	0,5	354,4	0,350	15,3	0,386	0,262

Таблиця 1.3 – **Розрахунок інтенсивності ФАР на полі з картоплею за вегетаційний період**

Посадка - 28 квітня
Стиглість - 4 серпня
ст.Сербка

Місяць	Декада	S′, кал·см$^{-2}$	D, кал·см$^{-2}$	J_o, Кал·см$^{-2}$
Квітень	1	1750	1850	2,1
---	2	2120	2090	2,4
---	3	2850	2180	2,7
Травень	1	2250	2090	2,7
---	2	3690	2020	3,0
---	3	3480	1960	2,9
Червень	1	3460	1980	2,9
---	2	3430	2110	2,9
---	3	3490	2130	3,0
Липень	1	3850	2010	3,0
---	2	4250	1790	3,0
---	3	4410	1820	2,9
Серпень	1	4010	1690	2,9
---	2	3490	1620	2,8
---	3	3520	1780	2,8

1.2 Визначення площі листя

Однією з найважливіших умов для використання сонячної радіації з високим коефіцієнтом корисної дії (ККД) є те, щоб площа листя у посівах поступово зростала, досягала найбільш сприятливої величини і якомога довше утримувалась в активному стані, забезпечуючи асимілятами репродуктивні і накопичуючі органи [2].

Наприкінці вегетації важливо, щоб листя переміщували в репродуктивні і запасаючі органи найбільшу кількість пластичних речовин. Такий характер зміни функції листя дає можливість поглинати протягом вегетаційного періоду в середньому до 80% енергії ФАР. Але в практиці сільськогосподарського виробництва такі умови майже не складаються. Це відбувається через нестачу води і мінеральних речовин, велику кількість бур’янів у посівах тощо. Тому площа листя рідко коли досягає найбільш сприятливих значень. А саме через це і поглинення ФАР, і інтенсивність газообміну в посівах різко зменшуються.

Особливо велика кількість невикористаної рослинами ФАР припадає на весняні місяці, коли спостерігаються затримки з сівбою. Пізно посіяні

культури формують оптимальну листову поверхню у той час, коли інтенсивність ФАР уже зменшується і погіршується термічний режим. Крім того наростання площі листя також залежить від умов тепло- і вологозабезпеченості посівів. Ю.І.Чирковим [3] встановлено, що при однакових значеннях запасів продуктивної вологи збільшення площі листя кукурудзи у фазу викидання волоті в два рази збільшує урожай зерна.

Для утворення репродуктивних органів і господарської цінної частки врожаю необхідно, щоб площа листя була оптимальною. Оптимальною прийнято вважати таку площу листя, яка забезпечує максимальний газообмін посіву. Більшість дослідників дійшли згоди, що площа листя 2-7 $м^2 \cdot м^{-2}$ або 40-50 тис. $м^2 \cdot га^{-1}$ є оптимальною [4, 5].

Оптимальна площа листя також залежить від структури рослинного покриву, виду і сорту рослин, морфології рослин, віку листя.

Х.Г.Тоомінгом запропонована формула для визначення оптимальної площі листя [5].

$$L_{opt} = \frac{\sin \bar{h}_o}{G_L(\bar{h}_o)} \ln \frac{\bar{Q} G_L(\bar{h}_o)[\tau_o - 24c]}{24(1-\sqrt{c})\sqrt{c}\bar{\Pi} \sin h_o}, \qquad (1.21)$$

де $G_L(\bar{h}_o)$ – функція геометричної структури РП при висоті Сонця $\bar{h}_o$, що відповідає стану $Q = \bar{Q}$;

τ_o – тривалість дня;

Q – насичена інтенсивність ФАР;

c – коефіцієнт витрат на дихання;

$\bar{\Pi}$ – інтенсивність радіації пристосування листка, кал·$см^{-2}$·$хвил^{-1}$.

Високі врожаї одержують у тому випадку, коли площа листя буває оптимальною і фотосинтезує якомога триваліший час.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або його відрізок запропоновано вираз [4]:

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_o(t)\,\mathrm{d}t, \qquad (1.22)$$

де L_o – відносна площа листя , $м^2 \cdot м^{-2}$;

t – час роботи площі в днях;

Φ_n – має розмірність $м^2$·день·$га^{-1}$.

Фотосинтетичний потенціал посіву знаходиться у тісному зв'язку з урожаєм.

Площа листової поверхні на одиницю площі поля залежить від густоти рослин, умов розвитку, рівня агротехніки та ін. Для визначення площі листя існує багато методів: ваговий, контурів, вакуумний, висічок та ін. Всі вони досить об'ємні.

Визначення площі листя за допомогою висічок проводиться так. За допомогою висічок набирається площа $S = 5 \cdot 10^{-3} м^2$. Набрані висічки зважуються і визначається сира маса висічок. Маса листя, що залишилась від висічок, також зважується. Складання сирої маси висічок листя та залишків від них дає сиру масу листя. Форма висічок кругла.

При виборі висічок враховується, що точність методу залежить від правильного взяття висічок. Вони характеризують співвідношення між площею і масою вибірки. Листя для висічок беруться на різній висоті в посіві, а також різні щодо розвитку.

Метод висічок дозволяє визначити фотосинтетичну площу рослин.

Площа листя при цьому визначається з формули:

$$L = \frac{B_2 \cdot S}{B_1 \cdot n}, \qquad (1.23)$$

де S – площа висічок, $м^2$ (як завжди $5 \cdot 10^{-3}$ $м^2$);

B_1 – сира маса висічок, г;

B_2 – сира маса листя, г;

n – кількість рослин на 1 $м^2$ або на га.

Часто в моделюванні використовується значення питомої поверхневої щільності листя. Вона визначається з формули:

$$\delta_i = \frac{P}{S}, \qquad (1.24)$$

де S – площа висічок, $м^2$;

P – суха маса висічок, г.

Останнім часом все більше поширюються методи визначення площі листя за допомогою лінійних параметрів листка [3, 6] або рослини.

Так, Ю.І.Чирковим запропоновано формулу розрахунку площі листя кукурудзи для однієї рослини в $см^2$:

$$S_1 = 36{,}94h - 1632{,}8, \qquad (1.25)$$

де h – висота рослин, см.

Площа листя на гектар розраховується згідно з виразом:

$$S = NS_1 / 10000, \qquad (1.26)$$

де N – кількість рослин на гектарі.

Для овочевих культур – томатів, перцю, баклажанів запропонована формула для визначення площі одного листка, см^2:

$$S_1 = 0{,}64ld, \qquad (1.27)$$

де l – найбільша ширина листка, см;

d –довжина листка від черешка до загостреної вершини, см.

Площа листя однієї рослини розраховується за формулою:

$$S_L = \sum_{i=1}^{n} Sn_i, \qquad (1.28)$$

де n – кількість листків на одній рослині.

Площа листя на га розраховується як

$$S_{L\text{га}} = \sum_{i=1}^{n} Sn_i \cdot N \cdot 10^{-4}, \qquad (1.29)$$

де N – кількість рослин на 1 га, тис;

10^{-4} – перевідний коефіцієнт.

Приклад. Розрахувати площу листя кукурудзи на дату викидання волоті. Розрахунки наведені в *табл.1.4.*

Таблиця 1.4 – **Розрахунок площі листя кукурудзи**

С т а н ц і я	Дата настання викидання волоті	Висота рослин, см	Густота рослин на 1 м^2 (N)	Площа листя однієї рослини,см	Площа листя,м^2 на 1га
Знам'янка	28.VI	144	308	36	13
Помічна	30.VI	160	420	42	20
Ново-Олександрівка	26.VI	155	400	41	23
Дар'ївка	26.VI	176	378	48	11
Середнє	28.VI	159	376	42	17000

1.3 Визначення маси та густоти стеблестою сільськогосподарських культур

Масу та густоту стеблестою зернових колосових культур у період від 3-го листа до молочної стиглості, сіяних злакових трав від фази появи нижнього вузла соломини до фази колосіння або цвітіння визначають з допомогою біометричного фотометра.

Метод визначення маси РП і густоти стеблестою РП засновано на тісному кореляційному зв'язку між ОСКЕЯ (ослаблення спектрального коефіцієнта енергії яскравості), що вимірюється фотометром і значеннями вказаних параметрів. Цей метод розроблено у РНДІСГМ.

Для оцінки середніх значень маси РП і густоти стеблестою на полі з допомогою фотометра вимірюють ОСКЕЯ на вибраному маршруті, потім обчислюють середнє значення ОСКЕЯ і згідно з ним вибирають майданчики, на яких підраховують густоту стеблестою або визначають масу рослин. Середнє значення маси і густоти РП на цих майданчиках розповсюджують на все поле.

Вимірювання на полях зернових культур проводять від фази 3-го листа до молочної стиглості; на полях з однолітніми сіяними травами – від моменту висоти травостою 10 см до укосу; з багаторічними травами першого року життя – від фази кущіння до фази цвітіння; другого і наступних років життя – від весняного обстеження до укосу.

На полях з озимими - восени щодекадно (9 - 10^{й} день декади), починаючи від фази 3-го листка до припинення вегетації; у весняно-літній період – під час обстеження навесні; у фазу колосіння, у фазу молочної стиглості, 20 - 22 травня, 20 - 22 - червня.

На полях з ярими зерновими культурами – у фазу 3-го листка, появи нижнього вузла соломини, колосіння, молочної стиглості, 20 - 22 травня, 20 - 22 липня.

На полях сіяних трав - щодекадно у фазу появи нижнього вузла соломини, колосіння у злакових або початку цвітіння інших трав, перед укосом.

Вимірювання можна перенести на три дні в залежності від дат настання фаз розвитку культур.

Умови вимірювання.

Вимірювання проводять за умов:

– температура повітря, ^{0}С – від 5 до 40;

– відносна вологість, % – від 20 до 96;

– частина доби, год. – від 9 до 18.

Підготовка і виконання вимірювання:

1) в книжку заносять дату вимірювань, № поля, назву культури, сорт, фазу розвитку обстежуваної культури;
2) вибирають найбільш оптимальний маршрут руху з врахуванням того, що за сонячної погоди вимірювач повинен знаходитись між оператором і Сонцем;
3) при висоті рослин більш ніж 1,3 м прилад вимірювання закріпляють на подовжувальній рейці, яка входить до комплекту приладу;
4) у відповідності з вказівками щодо експлуатації виконують настройку приладу (встановлення на індикаторі "1,00");
5) фотометрування.

Фотометрування проводять через 10 ± 0,25 м. Вимірювач фотометра повинен знаходитись на відстані 0,7 м від оператора і на висоті 0,5 м від верхньої межі РП. На маршруті виконують не менше ніж 50 вимірювань за відсутності обчислювальної техніки або більше, якщо така є.

На початку або в кінці поля проводять фотометрування майданчика з чистим, без рослин, грунтом.

Структура і стан грунту на цьому майданчику не повинні відрізнятись від грунту під посівами культур. Розмір майданчика повинен бути не менше ніж 1,5 х 1,5 м. На поверхні майданчика не повинно бути ніякої тіні.

1.3.1 Вибір майданчиків спостереження

Вибір майданчика, який характеризував би середнє значення маси та густоти стеблестою РП на полі, проводять за допомогою фотометра. З трьох майданчиків, на яких показання фотометра в інтервалі від 1,0 до 10,0 не відрізняються від середнього на ± 0,2 або ± 0,5 при значеннях ОСКЕЯ більше 10,0, вибирається один, найбільш типовий.

Вибір майданчиків проводиться за тих же умов, що й для вимірювань на маршруті:

1) висота розташування вимірювача над грунтом;
2) розташування вимірювача фотометра відносно Сонця та оператора;
3) умови освітлення.

Інтервал часу між оцінкою середнього значення і початком вибору майданчиків не повинен бути більше 15 хв.

В межах обстежуваного поля вибирають майданчик з середнім значенням ОСКЕЯ, потім накладають рамку так, щоб її центр співпадав з центром майданчика, на якому проводиться фотометрування, а одна з діагоналей співпадала з рядком, і потім всередині рамки визначають кількість стебел (рослин). Операцію вибору майданчика і визначення густоти стеблестою повторюють тричі.

Під час визначення маси РП всі рослини на майданчику, обмеженому рамкою, зрізують серпом або ножицями на висоті до 1 см від поверхні грунту. Зрізані рослини поміщають у поліетиленові пакунки і зав'язують шворкою з прив'язаною етикеткою. На етикетці вказується номер поля. Одержані проби якомога швидше повинні бути доставлені у приміщення, в якому їх відразу ж зважують з помилкою ±0,5 г і записують у таблицю спостережень (*табл.1.5*).

1.3.2 Обробка результатів вимірювання

Розрахунок середнього значення ОСКЕЯ на маршруті і середніх значень маси РП та гущини стеблестою проводять за формулою:

4) середнє значення $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{\gamma=1}^{N} x_\gamma \ , \qquad (1.30)$$

де N – кількість вимірювань;

x_γ – значення x у γ-му вимірюванні;

Таблиця 1.5 – **Приклад запису результатів спостережень**

Культура– озима пшениця ,
Миронівська 808

Дата вимірю-вання	Номер майдан-чика	ОСКЕЯ						Гущина стеблестою (рослин), стебел/м^2 (рослин/м^2)	Маса РП, т/га
		1	2	3	4	5	сере д-нє		
13.05.92	25	5,4	5,0	5,8	4,9	5,2	1,4	392	47,0
		5,3	3,9	3,3	4,9	4,8		411	50,0
		5,4	5,5	4,2	3,8	39		420	41,5
		4,0	3,2	3,3	3,3	4,7			
		4,5	2,9	3,3	3,2	4,9			
		5,2	5,5	5,3	5,3	5,4			
		4,0	3,8	4,0	4,3	5,1			
		3,9	4,2	4,3	5,0	3,9			
		4,0	3,8	4,3	4,3	3,2			
		3,7	3,9	4,2	4,3	5,8	44*	408*	46,5
24.05.92	25	9,6	9,6	9,2	7,3	10,0	1,2	189	137,5
		7,2	9,6	9,4	7,7	7,6		180	144,0
		6,9	8,5	4,9	6,9	8,9		193	142,0
		7,9	8,7	12,8	11,3	10,6			
		8,0	6,9	6,0	7,5	7,4			
		8,0	-	-	-	-	8,4*	187*	142,2

* Наводяться та кодуються середні значення
Підпис виконавеця (П.І.Б.)

2) дисперсію середнього значення *x* визначають за формулами:

$$\sigma\frac{2}{x} = \frac{1}{N-1}\sum_{\gamma=1}^{N}\left(x_\gamma - \bar{x}\right)^2, \qquad (1.31)$$

якщо немає обчислювальної техніки, або:

$$\sigma\frac{2}{x} = \frac{1}{N-1}\left[\sum_{\gamma=1}^{N} x_\gamma^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{\gamma=1}^{N} x_\gamma\right)^2\right], \qquad (1.32)$$

якщо є мікрокалькулятори.

3) середнє квадратичне відхилення визначають за формулою:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\sigma^2_{\bar{x}}}, \qquad (1.33)$$

5) відносну середню квадратичну помилку середнього значення при довірчій імовірності 0,9 визначають з формули:

$$\Delta_{\bar{x}} = \frac{t\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}\sqrt{N}} \cdot 100\% , \qquad (1.34)$$

де t - критична точка t-розподілу Стьюдента для 0,9 довірчої ймовірності з (N - 1) міри вільності згідно з *табл.1.6.*

Таблиця 1.6 – **Критичні точки *t* - розподілу Стьюдента для 0,9 довірчої ймовірності**

Число ступенів вільності	Критична точка	Число ступенів вільності	Критична точка
1	6,31	17	1,73
2	2,92	20	1,73
3	2,35	21	1,72
4	2,13	22	1,72
5	2,01	23	1,71
6	1,94	24	1,71
7	1,89	25	1,71
8	1,86	25	1,71
9	1,83	26	1,71
10	1,81	27	1,70
11	1,80	28	1,70
12	1,78	29	1,70
13	1,77	30	1,68
14	1,76	40	1,67
15	1,75	60	1,66
16	1,75	120	

1.3.3 Алгоритми побудови та використання градуювальних характеристик фотометра

Загальні положення.

Безпосереднє визначення маси РП та густоти стеблестою проводиться за градуювальними характеристиками (ГХ) фотометра, котрі спочатку визначають дослідним шляхом.

За аналітичний вираз ГХ фотометра типу ФОН БВ - 703 (ФОН БВ 701) використовують залежність:

$$I_\tau = I_n + a_\tau \cdot z \,, \qquad (1.34)$$

де I_τ – значення ОСКЕЯ системи грунт - рослинність;

I_n – значення ОСКЕЯ грунту без рослин;

z – значення фітопараметра : маса РП (m), г/м^2 або густота стеблестою (q), стебел/м^2;

a_τ – параметр, що визначається методом найменших квадратів окремо для кожної культури, сорту та фази розвитку;

τ – біологічний вік (фаза розвитку).

ГХ будують для кожної культури, сорту та фази розвитку. Вимірювання за допомогою ГХ проводять в інтервалі ±2год. від справжнього полудня і не більше ніж через 5 днів після їх побудови.

Метод може бути запропонований для обстеження посівів однієї культури на п’яти і більше полях. Помилка визначення маси РП і густоти стеблестою залежить при цьому від якості градуювальної характеристики і відповідності умов її використання.

Порядок побудови градуювальних характеристик.

Побудову ГХ виконують на підставі годинних фітометричних і фотометричних вимірювань, які виконують в інтервалі ±2 год. від справжнього полудня. Одержаний за час обстеження інтервал зміни ОСКЕЯ розбивають на 3 області: область низьких значень ОСКЕЯ, середніх і високих.

За допомогою фотометра підбирають в кінці поля (але не на обсіві) 18 однорідних майданчиків розміром 1 × 1 м таким чином, щоб п’ять з них мали низькі значення ОСКЕЯ, вісім – середні і п’ять – високі. Забур’яненість на цих майданчиках повинна бути така ж, як і всього посіву.

Відібрані майданчики позначаються пронумерованими стовпчиками.

Фотометрування виконують на вибраних майданчиках. При цьому вимірювач розташовується перпендикулярно до центру майданчика

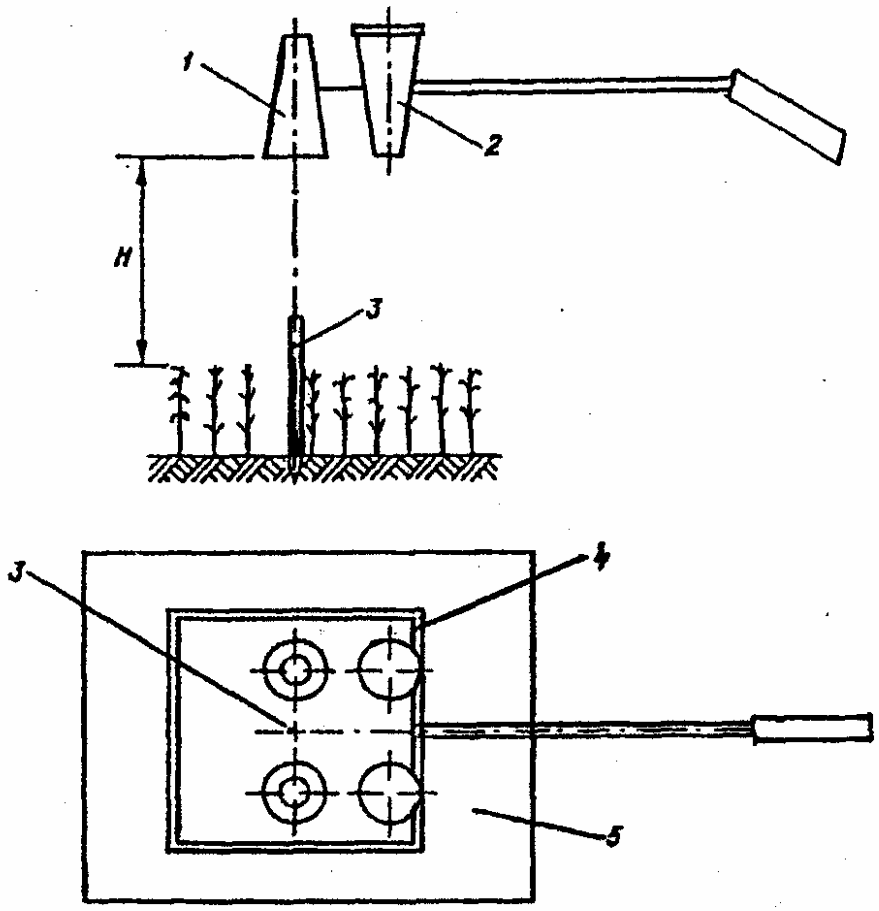


Рис.1.1 – **Розташування каналів фотометра для вибору та фотометрування майданчиків:**

1 – робочі канали фотометра; 2 – опорні канали фотометра;
3 – стовпчик; 4 – рамка; 5 – майданчик.

(*рис.1.1*). В умовах змінної хмарності всі вимірювання необхідно проводити при постійному стані диска Сонця. Всі майданчики фотометруються впродовж 20 хвилин.

Для кожного майданчика визначають встановлене показання вимірювача.

Результати вимірювань заносять у робочу таблицю.

Фітометричні вимірювання на майданчиках виконують згідно із вищевказаним і також заносять у робочу таблицю (*табл.1.7*).

Таблиця 1.7 – **Приклад градуйованих вимірювань і розрахунків**

Культура – ячмінь, сорт– Надія, дата вимірювань 20.06.91, фаза - колосіння.

Номер майданчика	ОСКЕЯ		Маса РП г/м^2	Густота стеблестою, стебл/м^2
	виміряне I_γ	розраховане I_m		
1	5.50	5.12	545	468
2	5.55	5.63	615	520
3	5.75	5.52	600	465
4	5.80	5.88	650	470
5	6.15	5.70	625	462
6	6.60	6.85	785	473
7	7.05	6.87	760	468
8	7.45	6.78	775	440
9	7.35	7.28	845	432
10	7.73	7.36	855	428
11	7.30	7.72	902	468
12	7.95	7.86	925	470
13	7.60	6.67	945	460
14	8.75	9.01	1085	428
15	9.20	8.98	1080	471
16	9.65	9.19	1110	442
17	9.15	9.48	1150	444
18	8.90	9.30	11.25	472

Час початку і закінчення вимірювань 12^{30} - 13^{30}.

Умови освітленості: ясно.

Інтервал вимірювання параметрів: $m_{хв}$ - 545 г/м^2, $m_{макс}$ - 1150 г/м^2, a_m - 0,0072 г^2/м^2

Примітка: I_n – значення ОСКЕЯ грунту без рослин; I_n =1,2

I_m – значення ОСКЕЯ , обраховане для маси РП.

Обробка результатів вимірювання.

Після закінчення спостережень (*табл.1.7*) проводиться обчислення параметрів ГХ. При цьому необхідно пам'ятати, що діапазон ГХ обмежений мінімальним Z_{min} та максимальним Z_{max} значеннями фітопараметра, які одержані з градуйованих вимірювань. Параметри ГХ розраховують за формулами:

$$a = \frac{\sum I_\gamma Z_\gamma - I_n \sum Z_\gamma}{\sum Z_\gamma^2}, \qquad (1.35)$$

де Z_γ – значення фітопараметра на γ-ому майданчику;

I_n – ОСКЕЯ грунту без рослин;

I_γ – значення ОСКЕЯ на γ-ому майданчику.

$$\bar{I}_\gamma = I_n + a \cdot z \qquad (1.36)$$

Розрахунки виконуються для всіх значень фітопараметра.

Розрахунки помилок оцінок фітопараметра по ГХ у точці Z^* виконують за формулою:

$$\Delta ГХ = \frac{t_{N_2-2}}{a} \sqrt{\left\{ \frac{1}{N_2 - 2} \sum \left(I_\gamma - \bar{I}_\gamma \right)^2 \left[\frac{1}{N_2} + \frac{\left(\bar{x}_2 - Z^* \right)^2}{\sigma_{x_2}^2 \left(N_2 - 1 \right)} \right] \right\}}, \qquad (1.37)$$

де t_{N_2-2} – критична точка *t*-розподілу Стьюдента для 90% рівня ймовірності з (*N*-2) ступенів вільності (для N_2=18 з *табл.1.6*);

a – параметр, визначений за формулою (*1.35*);

N_2 – кількість градуйованих вимірювань;

I_γ – значення ОСКЕЯ , одержане за результатами вимірювань на γ-ому майданчику;

$\bar{I}_\gamma$ – значення ОСКЕЯ , розраховане за формулою (*1.36*);

Z^* – значення фітопараметра, для якого проводиться розрахунок помилки ГХ фотометра;

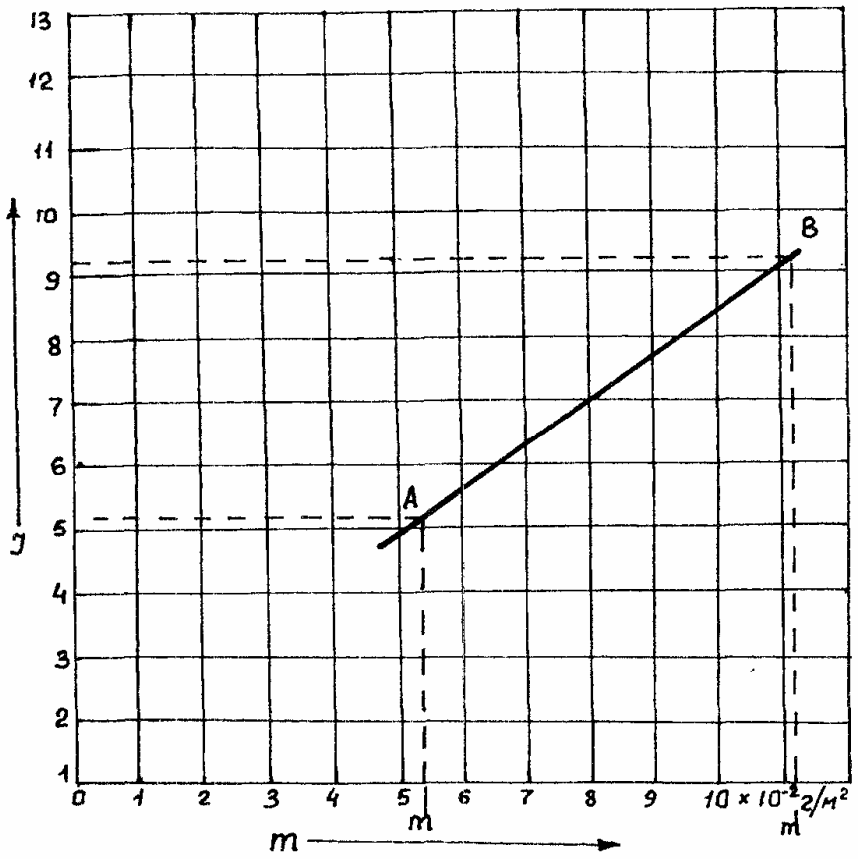


Рис.1.2 – **Градуювальна характеристика фотометра.**

$\bar{x}$ – оцінка середнього значення фітопараметра з градуйованих вимірювань за формулою (*1.30*);

$\sigma^2_{x_2}$ – оцінка дисперсії середнього значення фітопараметра за формулою (*1.31*).

Розрахунок помилки оцінки середнього значення фітопараметра Δ_Z за результатами вимірювань на полі з використанням ГХ виконують за формулою:

$$\Delta_Z = \sqrt{\Delta^2_{ГХ} + \frac{1}{N_1} t^2_{N_1} - 2\sigma^2_{z_1}} \quad , \qquad (1.38)$$

де $\Delta_{ГХ}$ – помилка ГХ фотометра, обчислена за формулою (*1.37*) для середнього значення фітопараметра на полі $Z^* = \bar{Z}$;

N_1 – кількість вимірювань на полі;

$\sigma^2_{z_1}$ – оцінка дисперсії середнього значення фітопараметра на полі;

t – критична точка t-розподілу Стьюдента за 90% довірчої ймовірності з (N - 2) ступенів вільності.

Графічне зображення ГХ (*рис1.2*) отримують, з'єднуючи прямою лінією на координатно-масштабному номері (міліметровці) розміром 210х297мм дві точки $A(Z_{\min}, \hat{I}_A)$ та $B(Z_{\max}, \hat{I}_B)$. Масштаб креслення (*рис.1.2*) доцільніше вибирати: $\hat{I}$ =1 мм=0,1; q =1мм – 2 стебла/м^2; 2 рослини/м^2; 10 рослин/м^2.

Оцінку помилок визначення фотометра з вживанням ГХ виконують за формулами (*1.37*) та (*1.38*). Результат вимірювань занотовують у вигляді: $Z + \Delta Z$; де ΔZ – помилка, визначена за формулою (*1.38*).

Приклад обробки даних вимірювань.

За наслідками градуйованих вимірювань розрахувати та побудувати ГХ для маси РП, а також визначити масу РП на полі, де із 25 вимірювань отримано середнє значення ОСКЕЯ, яке дорівнює 8,4 з коефіцієнтом варіації 5,0%.

1. а) Спочатку одержують середні значення m_{N_1} та I_N;

   б) розраховується за формулою (*1.35*) параметр a; a = 0,0072.

2. Розраховується за формулою (*1.36*) і занотовується у таблицю значення $\overline{I}_y$ для усіх виміряних на майданчиках значень маси РП (на *рис1.2* наведено графічне зображення ГХ).
3. Розраховується за загальними правилами середнє значення маси РП $\overline{m}$ та дисперсія $\sigma\frac{2}{m_2}$ за даними градуйованих вимірювань:

$$\overline{m} = \frac{545 + 651 + ... + 1125}{18} = 854 \text{ гм/м}^2 \ ,$$

$$\sigma\frac{2}{m_2} = \frac{(545-854)^2 + (615-804)^2 + ... + (1125-854)^2}{18-1} = 398852 \text{ г}^2/\text{м}^4 \ ,$$

4. Визначається за ГХ середнє значення маси РП $\overline{m}$ на полі та її дисперсія:

$$\overline{m}_1 = \frac{I - I_n}{a} = \frac{8{,}4 - 1{,}2}{0{,}0072} = 1000 \text{ г/м}^2 \ ,$$

$$\sigma^2_{m_1} = \left(\frac{C_\gamma \cdot 7}{100 \cdot a}\right)^2 = \left(\frac{5{,}9 \cdot 8{,}4}{100 \cdot 0{,}0072}\right)^2 = 4738 \text{ г}^2 / \text{м}^4 \ ,$$

5. Обчислюється за формулою (*1.37*) помилка ГХ фотометра для маси $\overline{m}$ = 1000 г/м^2;
$\Delta_{ГХ}$ = 30 г/м^2.
6. Обчислюється абсолютна Δ_{m_1} та відносна σ_m помилки результатів визначення маси РП.
Δ_{m_1} = 24,17 ≈ 24 г/м^2
σ_m = 2,4%.

2 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС РОСЛИННОГО ПОКРИВУ

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

$$R = P + LE + B + \Delta, \qquad (2.1)$$

де R – радіаційний баланс;

P – турбулентний теплообмін поміж підстильною поверхнею і атмосферою;

LE – витрати тепла на випарування;

B – потік тепла в грунт;

Δ – тепло, що витрачається або виділяється при біохімічних процесах.

Запишемо окремо рівняння теплового балансу рослин і грунту:

$$R(l) = P(l) + LE(l) + B(l) + \Delta; \qquad (2.2)$$

$$R(\Pi) = P(\Pi) + LE(\Pi) + B(\Pi) + \Delta \qquad (2.3)$$

При біохімічних процесах в природних умовах витрати енергії не перевищують 2% від величини радіаційного балансу, тому величина Δ 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 грунт $B(l)$ 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 грунті 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 вологості повітря і швидкості вітру. Для визначення складових теплового балансу існують методи інструментальні і розрахункові.

2.1 Турбулентний потік теплоти *P*(*l*) і витрат тепла на випарування *LE*(*l*)

Турбулентний потік теплоти $P(l)$ і витрат тепла на випарування $LE(l)$ визначаються за допомогою теплобалансових спостережень. Найчастіше для визначення $P(l)$ та $LE(l)$ використовується метод турбулентної дифузії:

$$P(l) = -\rho C_\rho k \frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}Z}; \qquad (2.4)$$

$$LE(l) = -\Theta \rho k \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}Z}, \qquad (2.5)$$

де L – прихована теплота пароутворення;

ρ – густина повітря;

C_ρ – теплоємність повітря;

k – коефіцієнт турбулентності;

$\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}Z}, \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}Z}$ – вертикальні градієнти температури і вологості повітря;

Θ – тепло пароутворення, в розрахунках приймається рівним 600 кал/г.

На мережі метеорологічних станцій визначається не питома вологість, а пружність водяної пари. Тому розрахунок $P(l)$ та $LE(l)$ проводиться за допомогою формул:

$$P(l) = 1{,}35k_1 + \Delta t; \qquad (2.6)$$

$$LE(l) = 2{,}1k_1 \cdot \Delta l, \qquad (2.7)$$

де Δt і Δl різниці температури повітря (^{0}C) і пружності водяної пари (мб) на рівнях 0,5 та 2,0 м;

k_1 – коефіцієнт турбулентності на висоті 1м, м^2·с$^{-1}$, визначається при зміні швидкості вітру тільки на h =1м рівнянням:

$$k_1 = 0{,}16U_1 \cdot D[1 + 7{,}5(\Delta t / \Delta U^2)], \qquad (2.8)$$

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

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

$$k_1 = 0{,}104\Delta U \cdot m, \qquad (2.9)$$

де ΔU – 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.2.1.* Значення k_1 та різні значення Δt і ΔU, які змінюються відповідно від -2 до 2^0 С та від 0,3 до 3,5 м/сек наводяться в *додатку 1*.

Δt, Δl та ΔU визначаються:

$$\Delta t = t_{0,5} - t_{2,0} \qquad (2.10)$$

$$\Delta l = l_{0,5} - l_{2,0} \qquad (2.11)$$

$$\Delta U = U_{2,0} - U_{0,5} \qquad (2.12)$$

Таблиця 2.1 – **Параметр Z_0 і коефіцієнт D для різних діючих поверхонь**

Діюча поверхня	Висота нерівностей, см	Z_0, м	D, безрозм.
Гола поверхня твердого грунту	–	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

Найбільш складним є розрахунок теплообміну в грунті.

2.2 Теплообмін у грунті

Теплообмін в грунті здійснюється з допомогою теплопровідності вздовж елементу твердого скелету грунту, передачею тепла завдяки теплопровідності від однієї частини грунту до іншої, молекулярної теплопровідності, теплопередачі на межі твердих частинок і середовища, випромінюванням від частинки до частинки та ін.

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

$$B(l) = -\lambda \frac{\mathrm{d}T_n}{\mathrm{d}Z}, \qquad (2.13)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт·м$^{-1}$·град$^{-1}$.

$$\lambda = K_T \cdot C^{'}; \qquad (2.14)$$

$$K_T = \lambda / C^{*} = \lambda / \rho_n C_n; \qquad (2.15)$$

$$K_T = X[m_i (W_1 - W_n)^2 + 10^{-3} m_2 \rho_n + m_3] \cdot 10^{-7}; \qquad (2.16)$$

$$C^{'} = (C_n \cdot C_{вод} \cdot 0{,}01W)\rho_n, \qquad (2.17)$$

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

$C^{'}$ – об'ємна теплоємність грунту, кДж ·м^3, ^{0}С;

ρ_n – щільність грунту, кг·м$^{-3}$;

C_n – питома теплоємність грунту, кДж·кг$^{-1}$, ^{0}С;

$C_{вод}$ – питома теплоємність води становить 4,19 кДж·кг$^{-1}$, ^{0}С;

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

W – вологість грунту, %.

Значення усіх теплофізичних характеристик λ, K_T, $C^{'}$ залежать від властивостей і стану грунтів – вологості, щільності, механічного складу, які змінюються з глибиною.

Із збільшенням вологості грунту λ і $C^{'}$ збільшуються, а із збільшенням ρ_n – зменшуються.

Коефіцієнт температуропровідності K_T також залежить від вологості грунту та вмісту повітря в ньому. При малих значеннях вологості K_T зростає, із збільшенням вологості зростання K_T уповільнюється.

Питома теплоємність грунту C_n залежить від механічного складу грунту і для різних грунтів значення C_n наведені в *табл. 2.2.*

Таблиця 2.2 – **Питома теплоємність абсолютно сухого грунту при позитивних температурах (за А.Ф. Чудновським та Д.А. Куртенер)**

Тип грунту	Теплоємність, C_n, кДж/(кг·°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 (*2.16*) {i =1,2,3,4} представлені в *табл. 2.3.*

Таблиця 2.3 – **Емпіричні коефіцієнти для різних типів грунту (за даними Є.О. Іконникова)**

Тип грунту	Значення m_i при i			
	1	2	3	4
Звичайний чорнозем	-0,013	3,1	1,21	20
Темнокаштановий	-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

Рівняння (*2.13*) для розрахунків потоків тепла використовується у тих випадках, коли відомий розподіл температур з глибиною, тобто при наявності теплобалансових спостережень.

Якщо температурне поле невідоме, то використовується рівняння теплопровідності грунту:

$$\rho_n C_n \frac{\mathrm{d}T_n}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}Z}\left(\lambda \cdot \frac{\mathrm{d}T_n}{\mathrm{d}Z}\right), \qquad (2.18)$$

в якому ліва частина представляє собою зміну температури грунту за часом; права – приріст потоку тепла з глибиною. Р.Дж.Хенкс і Дж.Расмусен показали, якщо це рівняння (*2.18*) подати у залишковому вигляді , то:

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i}{\Delta t} = \frac{\lambda\left(T_{i-1}^{j} - 2T_i^{j} + T_{i+1}^{j}\right)}{(\Delta Z)^2}, \qquad (2.19)$$

де i – індекси, що визначають шари грунту;

j – верхні індекси, що визначають приріст з часом;

Δt – відрізок часу;

ΔZ – відстань між шарами грунту.

Якщо визначити, що

$$\lambda[\Delta t/(\Delta Z)^2] = 0{,}5, \qquad (2.20)$$

то рівняння (*2.19*) спрощується до вигляду

$$T_i^{j+1} = 0{,}5\left(T_{i-1}^{j} + T_{i+1}^{j}\right) \qquad (2.21)$$

Отримане рівняння використовується для розрахунку температури грунту на будь-якій глибині і в будь-який час в умовах невстановленого теплового потоку. Для розв′язання рівняння (*2.21*) необхідні початкові та межові умови, які можуть бути визначені у полі або розраховані з обмеженими припущеннями. У цьому випадку температура грунту за попередній час j є початковою межею для подальшого j+1 .

Температура грунту в шарі i для часу j+1 визначається як осереднена температура верхнього шару грунту i-1 з температурою нижнього шару i+1 за час i та ін.

Р.Дж. Хенксом і Дж. П. Ашкрофтом [127] отримані розрахункові дані температури грунту за початковими та межовими умовами (*табл. 2.4*).

Таблиця 2.4 – **Розрахунок температури грунту за початковими і межовими даними (згідно з Р.ДжХенкс і Дж.П.Ашкрофт)**

Час доби	Початкові дані	T_i^{j+1} при глибині, см									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
00	18,6	21,8	23,2	21,8	21,0	20,0	18,8	18,5	18,0	17,0	16,5
02	16,8	20,9	21,8	22,1	20,9	19,9	19,3	18,4	17,8	17,3	16,5
04	15,5	29,3	21,5	21,4	21,0	20,1	19,2	18,6	17,9	17,2	16,5
06	15,6	18,5	20,4	21,3	20,8	20,1	19,4	18,6	17,9	17,2	16,5
08	17,3	18,0	19,9	20,6	20,7	20,1	19,4	18,7	17,9	17,2	16,5
10	23,9	18,6	19,3	20,3	20,4	20,1	19,4	18,7	18,0	17,2	16,5
12	32,1	21,6	19,5	19,9	20,2	19,9	19,4	18,7	18,0	17,3	16,5
14	38,7	24,8	20,8	19,9	19,9	19,8	19,3	18,7	18,0	17,3	16,5
16	37,4	29,8	22,9	20,4	19,9	19,6	19,3	18,7	18,0	17,3	16,5
18	31,9	30,2	25,1	21,4	20,0	19,6	19,2	18,7	18,0	17,3	16,5
20	26,5	28,5	22,8	22,6	20,5	19,6	19,2	18,6	18,0	17,3	16,5
22	23,2	26,2	25,6	23,2	21,1	19,9	19,1	18,6	18,0	17,3	16,5
24	21,5	24,4	24,7	23,4	21,6	20,1	19,3	18,6	18,0	17,3	16,5

Примітка: Започатковані умови – температура на поверхні грунту за добу з інтервалом 2 год; температура в 00.00 годин на глибинах і температура на глибині 100 см.

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 грунту 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.

Для характеристики температурного режиму приземного шару повітря використовується поняття “стрибок температури грунт-повітря”, запропонований М.І. Будико [7].

$$\Delta T_B = T_n - T_{2,0}, \qquad (2.22)$$

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

Для оцінки впливу РП застосовується різниця стрибків температури грунт - повітря на метеорологічному майданчику і в посіві, запропонована М.І. Гойса, Р.Н. Олійник, А.Р. Рогаченко і ін. [8]:

$$\delta T_B = \Delta T_{BM} - \Delta T_{BП}, \qquad (2.23)$$

де ΔT_{BM} і $\Delta T_{BП}$ – стрибки температури повітря-грунт відповідно на метеомайданчику (ΔT_{BM} = T_{nm} - $T_{2,0м}$) і в посіві ($\Delta T_{BП}$ = T_{nn} - $T_{2,0n}$);

T_{nm} і $T_{\underline{nn}}$ – температура голого грунту на метеорологічному майданчику і в посіві відповідно;

$T_{2,0n}$ і $T_{2,0м}$ – температура повітря на висоті 2,0м над поверхнею грунту і на метеорологічному майданчику відповідно.

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

Температуру листя визначають із рівняння теплового балансу листка:

$$\gamma_Q Q + J_A - J_L - H_L - LE_L = 0, \qquad (2.24)$$

де γ_Q – коефіцієнт поглинення листком сумарної радіації, він дорівнює 0,5;

Q – сумарна радіація;

LE_L – витрати енергії на транспірацію E_L з одиниці площі листка;

J_A – противипромінювання атмосфери, розраховується з формули Брента:

$$J_A = \delta T_A^L \left(a_1 + b_1 \sqrt{e}\right) , \qquad (2.25)$$

де δ = 5,67·10^{-12} Вт ·см$^{-2}$ ·К$^{-4}$ – стала Стефана - Больцмана;

a_1 =0,526 ; b_1 =0,065;

e – тиск водяної пари у повітрі, мб;

J_L – власне випромінювання листка, розраховується згідно із законом Стефана - Больцмана:

$$J_L = \delta \cdot T^4 \qquad (2.26)$$

(Верхня сторона листка береться за абсолютно чорне тіло);

H_L – конвективне перенесення тепла, розраховується за формулою:

$$H_L = 2 \cdot \frac{\rho_A C_P (T_L - T_A)}{r_{ан}} , \qquad (2.27)$$

де ρ_A = 1,19·10^{-3} г·см$^{-3}$ – густина повітря;

C_P – питома теплоємність повітря;

$r_{ан}$ – дифузійний опір на межі шару:

$$r_{ан} = a_н \left(b_L / \ U\right)^2 , \qquad (2.28)$$

де $a_н$ = 0,9;

b_L – довжина (ширина) листка, см;

U – швидкість вітру, м/с.

Питома кількість теплоти пароутворення:

$$A = 3243 - 2{,}72T \qquad (2.29)$$

Якщо в рівняння (*2.24*) підставити вирази окремих складових та замінити T_L на $T_A + \Delta T$, одержимо:

$$\gamma_Q Q + \sigma T_A^L \left(a_1 + b_1 \sqrt{e}\right) - [(4\sigma T_A^3 + 7{,}3 \cdot 10^{-7} (U/\ \ b_L)^{0{,}5} \times \\ \times \Delta T - (3243 - 2{,}72 T_A) E_L = 0, \tag{2.30}$$

тоді визначаємо ΔT:

$$\Delta T = \frac{\gamma_Q Q + \sigma T_A^4 (a_1 + b_1 \sqrt{e}) - (3243 - 2{,}72 T_A) E_L}{(4\sigma T_A^3 + 7{,}3 \cdot 10^{-7} (U/\ \ b_L)^{0{,}5}} \tag{2.31}$$

ΔT повітря мають досить виразний денний хід.

Вранці і ввечері температура листя нижче ніж температура повітря. Найбільші значення ΔT спостерігаються біля полудня, тобто в часи найбільшого припливу сонячної радіації.

Для виконання розрахунків P за добу і декаду використовуються формули:

$$\sum P_{доб} = 1440 хв \cdot P_{ср.доб}; \tag{2.32}$$

$$\sum P_{дек} = \frac{\sum P_{доб} \cdot n}{1000}, \tag{2.33}$$

де n – кількість днів у декаді.

Таблиця 2.5 – **Перевідні множники між одиницями вимірювання ФАР**

Одиниця	Одиниця				
	ерг·с$^{-1}$	кал·с$^{-1}$	кал·хв$^{-1}$	Вт	кал·год$^{-1}$
ерг·с$^{-1}$	1	2,39·10^{-8}	1,43·10^{-6}	1,0·10^{-7}	8,6·10^{-4}
кал·с$^{-1}$	4,19·107	1	60	4,19	3600
кал·хв$^{-1}$	6,98·105	1,67·10^{-2}	1	6,98·10^{-2}	60
Вт	1,0·107	0,239	14,37	1	8,6·103
кал·год$^{-1}$	1,16·104	2,78·10^{-4}	1,67·10^{-2}	1,16·10^{-3}	1

Одиниця	Одиниця			
	ерг	кал	ккал	Дж
ерг	1	2,39·10^{-8}	2,39·10^{-11}	10^{-7}
кал	4,19·107	1	0,001	4,19
ккал	4,19·1010	103	1	4,19·103
Дж	107	0,239	2,39·10^{-7}	1

Приклад розрахунку.

Завдання. Розрахувати:

1) турбулентний потік (*табл.2.6*);
2) затрати тепла на випарування (*табл.2.6*);
3) потік тепла в грунт (*табл.2.7-2.8*);
4) теплообмін у рослинному покриві.

Приклад розрахунку наведено в *табл.2.6–2.11*.

5) Розрахувати стрибок температури повітря - грунт.

Приклад наведено в *табл. 2.11.*

6) Розрахувати добовий хід теплового балансу листка. Приклад наведено в *табл.2.10, 2.11*.

Для зведення всіх підрахунків в єдину систему вимірювання користуються *табл. 2.5*. Визначення допоміжних величин виконується за допомогою *табл.2.12* та *додатку Б*.

Таблиця 2.6 – **Розрахунок витрат тепла на випарування та турбулентний потік**

ст. Одеса, 1 декада червня;
грунт – звичайний чорнозем

Дата	Хмарність		Диск Сонця	Температура повітря, ^{0}C		Пружність водяної пари, мБ		Швидкість вітру, м/сек		Різниця			K'	P	LE	$\sum P_{доб}$
	заг.	нижня		h=0,5	h =2,0	h =0,5	h =2,0	h =0,5	h =2,0	Δt	Δe	ΔU				
1	3	0	3	15,5	16,3	12,2	12,8	0,4	1,9	-2,1	-1,1	1,3	0,05	-0,142	-0,12	-204,50
2	10	10	4	21,5	21,4	12,6	12,4	0,6	0,8	0,0	0,7	0,7	0,07	0,000	0,06	0,00
3	10	10	0	19,6	20,2	9,5	8,5	2,0	2,7	-0,2	0,7	0,3	0,01	-0,003	0,01	-4,32
4	0	0	0	17,0	18,2	11,6	11,8	2,9	3,4	-,02	1,0	0,2	0,01	-0,003	0,02	-4,32
5	0	0	0	16,6	17,4	10,1	9,7	1,9	2,4	-1,9	0,6	0,3	0,00	0,000	0,00	0,00
6	5	0	0	18,1	17,4	12,8	11,4	0,0	0,1	1,4	1,5	0,2	0,18	0,340	0,57	489,60
7	10	0	3	19,6	19,7	13,1	14,3	1,0	1,2	0,6	1,4	0,2	0,10	0,080	0,29	115,20
8	8	0	2	19,6	19,3	13,0	13,8	2,1	2,4	1,0	1,3	0,8	0,15	0,200	0,41	28,80
9	10	0	0	19,8	19,9	12,8	11,5	3,1	3,6	0,5	0,0	0,7	0,12	0,080	0,00	115,20
10	0	0	4	18,1	19,6	12,2	13,8	1,2	1,4	0,0	-0,4	0,5	0,05	0,000	-0,04	0,00
															$\sum P_{дек}$ = 7,95	

Таблиця 2.7 – **Розрахунок коефіцієнта температуропровідності $K_t = m/N$**

Розрахунок m, град·см^2					
Величина	глибина, см				
	0	5	10	15	20
T_{19}	23,1	27,9	25,1	24,2	21,6
T_7	16,7	16,9	17,4	19,3	20,2
$\Delta T = T_{19\text{ -}7}$	6,4	11,0	7,7	4,9	1,4
$m \cdot \Delta T$	0,06	1,00	1,62	1,0	0,06
$r \cdot m$	0,06	1,00	1,62	1,0	0,06
$M = (\sum r \cdot m \cdot \Delta T) \cdot 26{,}67$					

Розрахунок $N = 6 \cdot (0{,}5T_7 + T_{10} + T_{13} + T_{16} + 0{,}5T_{19})$					
Величина	строк, год				
	7	10	13	16	19
T_0	16,7	26,2	43,0	41,6	23,1
T_{20}	20,2	19,4	23,3	23,3	21,6
$(T_0 + T_{20})/2$	17,4	20,3	25,3	29,2	25,1
T_{10}	12,5	27,8	33,2	32,5	22,4
$T' = (T_0 + T_{20})/2 - T_{10}$	1,7	7,5	7,9	3,3	-2,7
$N = 107{,}4$					

Таблиця 2.8 – **Розрахунок потоку тепла в грунті *B* (кал/(см^2·хв))**

грунт – південний чорнозем, середньосуглинковий

q = 1,08; C_n= табл.2.9 ; W = 32,2 %

Глибина, см	Температура грунту (°С) в строки спостережень, год. (31.V– 01.VI)						
	19	1	7	10	13	16	19
0	22,3	14,2	16,7	43,0	46,0	41,6	23,1
5	27,9	20,2	16,9	31,0	31,0	39,5	27,9
10	25,1	22,2	17,4	25,3	25,3	29,2	25,1
15	29,2	23,4	19,3	23,7	23,4	26,2	24,2
20	21,6	23,9	20,2	19,9	23,3	23,3	21,6
Розрахунок Δt							
Δt_0	-	8,1	2,5	19,4	6,9	1,4	18,5
Δt_5	-	7,7	3,3	7,3	6,8	8,5	11,6
Δt_{10}	-	2,9	4,8	2,9	5,0	3,9	4,1
Δt_{15}	-	5,8	4,1	0,1	4,0	2,8	2,0
Δt_{20}	-	2,3	3,7	0,8	3,9	0,0	1,7
Розрахунок S_i і $D(t)$							
S_0	-	13,3	4,1	34,6	11,3	2,4	15,0
S_5	-	51,7	22,0	48,6	44,6	56,6	18,9
S_{10}	-	10,2	16,4	10,2	17,2	13,6	14,4
S_{15}	-	17,8	12,3	0,3	12,2	8,6	6,0
S_{20}	-	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1
$D(t)$	-	92,8	55,3	93,8	85,6	89,6	69,4

Величина	Строк, год					
	1	7	10	13	16	19
$D(t)$	10,2	16,4	10,2	17,2	13,6	14,4
$D_н(t)$	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1
$D(t) - D_н(t)$	10,0	16,1	10,1	16,9	13,6	14,3
c	13,8	22,2	13,9	23,3	18,8	19,7
$c \cdot [D(t) - D_н(t)]$	13,8	22,2	13,9	23,3	18,8	19,7
$B(t)$ доба	111,7					
$B(t)$ декада (10 діб)	1117,0					

Таблиця 2.9 – **Розрахунок температури грунту за обмеженими значеннями**

Час доби	Температура грунту на початку доби, °С (на глибині, см)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
00	17,8	20,8	22,4	20,7	20,4	18,8	17,8	16,6	15,9	15,8	16,4
02	17,1	19,3	21,6	21,6	20,6	19,6	18,3	17,2	16,3	15,9	16,4
04	15,8	18,2	20,5	21,6	21,1	20,1	19,0	17,8	16,7	16,1	16,4
06	15,5	17,0	19,3	21,2	21,3	20,6	19,5	18,4	17,3	16,4	16,4
08	17,3	16,3	18,2	20,2	21,2	21,0	20,1	19,0	17,8	16,8	16,4
10	22,8	16,7	17,2	19,2	20,7	21,1	20,5	19,5	18,4	17,3	16,4
12	31,8	19,8	17,0	18,2	20,0	20,9	20,8	20,0	19,0	17,9	16,4
14	38,8	25,7	18,4	17,6	19,1	20,4	20,9	20,4	19,5	18,4	16,4
16	37,5	32,3	22,0	18,0	18,3	19,8	20,6	20,7	20,0	19,0	16,4
18	32,0	34,8	27,2	20,0	18,2	19,0	20,2	20,6	20,3	19,5	16,4
20	26,6	33,4	30,0	23,6	19,1	18,6	19,6	20,4	20,5	19,9	16,4
22	24,3	30,0	32,2	31,8	21,3	18,9	19,1	20,0	20,4	20,2	16,4
24	22,6	26,6	31,1	32,0	22,6	20,1	19,0	19,6	20,2	20,3	16,4

$C_п$ =1,05, $C_{вод}$ = 14,19, шар 0 -100 см, P = 1,3 г·см$^{-3}$, W (об’ємна вологість грунту) = 0,24

Таблиця 2.10 – **Розрахунок добового ходу теплового балансу листя**

Параметри	Строки спостережень, год											
	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22
1.Температура повітря, ^{0}C	21,8	20,8	18,4	17,4	18,8	20,2	21,6	24,3	24,9	24,2	22,1	21,6
2. Швидкість вітру, м/с	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,1	1,4	2,0	1,6	0,8	0,1
3. Ширина листка, b_L	36 мм											
4. I_A	$0{,}92\cdot10^{-10}$	0,21	0,77	0,71	0,77	0,82	0,87	0,99	1,01	0,23	0,90	$0{,}90\cdot10^{-10}$
5. I_L												
6. H_L												
7. ΔT												
8. e, мб	9,1	10,2	8,2	7,4	6,5	6,8	6,5	6,6	6,0	6,6	6,8	8,2
9. E_L, мм	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,08	0,09	0,08	0,07	0,05
10. Q	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,8	1,9	0,8	0,6	0,5	0,1	0,0

Таблиця 2.11 – **Розрахунок добового ходу значення стрибка температури "грунт-повітря" на картопляному полі**

Параметри	Строки спостережень, год											
	00	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22
1.Температура повітря, ^{0}С												
на метеомайданчику (2м)	21,8	20,8	18,4	17,4	18,8	20,2	21,6	24,3	24,9	24,2	22,1	21,6
на картопляному полі	22,0	21,0	18,0	17,0	18,6	20,2	22,0	23,1	24,0	23,6	22,0	21,8
2.Температура грунту, ^{0}С												
на метеомайданчику (2м)	22,0	21,0	19,8	25,0	28,8	38,9	52,2	58,2	46,1	36,6	31,8	26,2
на картопляному полі	22,5	21,8	20,1	25,8	27,8	36,8	51,1	56,0	42,3	34,8	30,5	25,6
3.Сумарна радіація, мДж/м^2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,88	1,9	0,8	0,6	0,5	0,1	0,0
4.Стрибок “грунт-повітря” на картопляному полі	0,5	0,8	2,1	8,8	9,2	16,6	29,1	32,9	18,3	11,2	8,5	3,8
5. Суха маса 1 рослини	10 г											

Таблиця 2.12 – **Допоміжна таблиця для розрахунку *S*(*i*)**

Значення $S_i = 20r_i\ \Delta t_i$ (i ~0,5,10,15,20 см)

Δt	S_i на глибині, см				
	0	5	10	15	20
0,1	0,2	0,7	0,4	0,3	0,0
0,3	0,5	2,0	1,0	0,9	0,0
0,5	0,8	3,3	1,8	1,6	0,0
0,7	1,2	4,7	2,4	2,2	0,1
0,9	1,5	6,0	3,2	2,8	0,1
1,1	1,8	7,3	3,8	3,4	0,1
1,3	2,1	8,7	4,6	4,1	0,1
1,5	2,5	10,0	5,2	4,7	0,1
1,7	2,8	11,3	6,0	5,3	0,1
1,9	3,1	12,6	6,6	5,9	0,2
2,1	3,4	14,0	7,4	6,6	0,2
2,3	3,8	15,3	8,0	7,2	0,2
2,5	4,1	16,6	8,8	7,8	0,2
2,7	4,4	18,0	9,4	8,4	0,2
2,9	4,8	19,3	10,2	9,0	0,2
3,1	5,1	20,6	10,8	9,7	0,2
3,3	5,4	22,0	11,6	10,3	0,3
3,5	5,7	23,3	12,2	10,9	0,3
3,7	6,1	24,6	13,0	11,5	0,3
3,9	6,4	26,0	13,6	12,2	0,3
4,1	6,7	27,3	14,4	12,8	0,3
4,3	7,0	28,6	15,0	13,4	0,3
4,5	7,4	30,0	15,8	14,0	0,4
4,7	7,7	31,3	16,4	14,7	0,4
4,9	8,0	32,6	17,2	15,3	0,4
5,1	8,4	34,0	17,8	15,9	
5,3	8,7	35,3	18,6	16,5	
5,5	9,0	36,6	19,2	17,2	
5,7	9,4	38,0	20,0	17,8	
5,9	9,7	39,3	20,6	18,4	
6,1	10,0	40,6	21,4	19,0	
6,3	10,3	42,0	22,0	19,7	
6,5	10,7	43,3	22,8	20,3	
6,7	11,0	44,6	23,4	20,9	
6,9	11,3	46,0	24,2	21,5	
7,1	11,6	47,3	24,8	22,2	
7,3	12,0	48,6	25,6	22,8	
7,5	12,3	50,0	26,2	23,4	
7,7	12,6	51,3	27,0	24,0	
7,9	13,0	52,6	27,6	24,6	
8,1	13,3	54,0	28,4	25,3	
8,3	13,6	55,3	29,0	25,9	
8,5	13,6	56,6	29,8	26,5	
8,7	14,3	57,9	30,4	27,1	
8,9	14,6	59,3	31,2	27,8	

2.4 Турбулентний режим у рослинному покриві

Розвиток моделювання продуційних процесів у посівах сільськогосподарських культур потребує розрахунків багатьох характеристик, в тому числі і розрахунків турбулентного режиму міжлисткового простору.

Основою для запропонованих розрахунків метеорологічного режиму в посівах за байдужої стратифікації, яка формує набігаючий потік, і геометричної характеристики посіву є один із варіантів моделі, розробленої Г.В. Менжуліним.

Великі площі, вкриті рослинністю, чинять певний аеродинамічний опір повітряному потоку, як і будь-яка інша підстильна поверхня (*рис2.1*).

Ця динамічна взаємодія характеризується коефіцієнтом опору:

$$c_D(z) = \frac{u_*^2}{\bar{u}^2(z)}, \qquad (2.34)$$

де $\bar{u}$ – середня швидкість вітру;

u_* – динамічна швидкість, яка визначається з виразу:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad ; \qquad (2.35)$$

$$\frac{\tau}{\rho} = -w' \cdot u', \qquad (2.36)$$

де τ – вертикальний турбулентний потік кількості руху;

ρ – густина повітря;

w' – вертикальна компонента швидкості вітру;

u' – швидкість повітряного потоку.

Якщо на деякій відстані по вертикалі від елементів перепон виконується логарифмічний закон, то використовується співвідношення:

$$u(z) = \frac{u_*}{\lambda} \ln \frac{z}{z_o} \qquad (2.37)$$

і тоді одержуємо

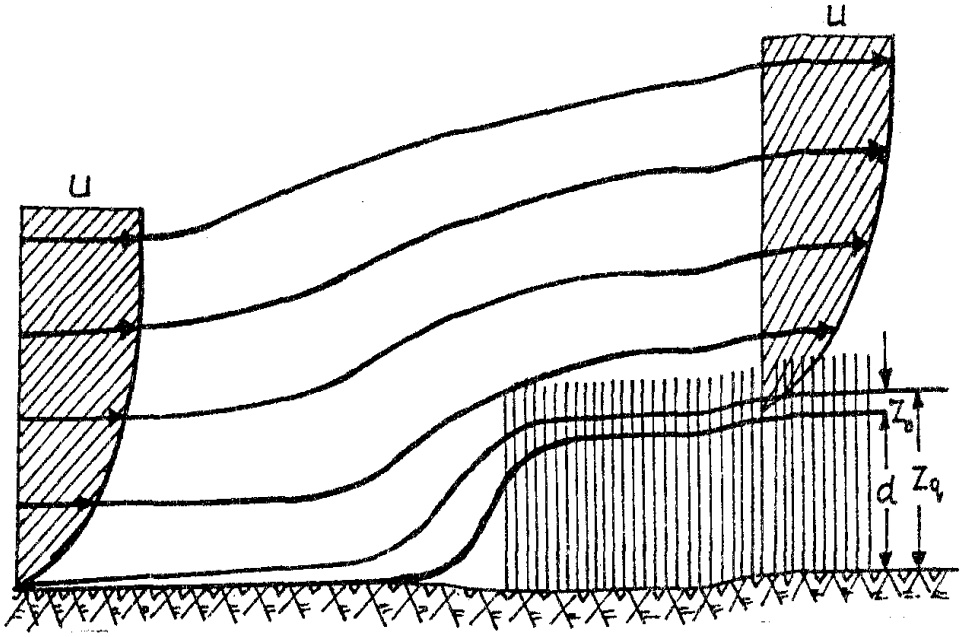


Рис.2.1 – **Схема набігання повітряного потоку на густий і високий травостій: d – шар витіснення; z_0 – шар шорсткості; z_q – діяльний шар (для швидкості вітру – u) (за А.Р.Констянтиновим, 1968).**

$$c_D(z) = \left(\frac{\lambda}{\ln \frac{z}{z_o}} \right)^2 \qquad (2.38)$$

Тут λ – стала Кармана;

z_o– параметр шорсткості;

z – висота.

Параметр шорсткості z_o – є головною характеристикою аеродинамічного опору підстильної поверхні повітряному потоку.

Поблизу нерівностей підстильної поверхні виконується логарифмічний закон, але висоту z визначають від деякого рівня d. На цьому рівні швидкість вітру дорівнює нулю. Утворений шар повітря між підстильною поверхнею і рівнем d називається "*шаром витіснення*". На рівні d середня швидкість повітря розраховується:

$$\bar{u} = \frac{u_*}{\lambda} \ln \frac{z-d}{z_o} \qquad \text{при} \qquad z \geq d + z_o \qquad (2.39)$$

Якщо ж $z \geq d$, то

$$\bar{u} = \frac{u_*}{\lambda} \ln \frac{z}{z_o} \qquad (2.40)$$

Аеродинамічні параметри рослин є функціями висоти, гущини елементів рослинного покриву і швидкості вітру.

Товщина шару витіснення залежить від висоти рослин (h_o) (*рис2.1*), від трав'янистих з висотою до 0,2 м до тропічних лісів з висотою до 50 м.

Існує ціла низка інших емпіричних формул, що пов'язують товщину шару витіснення d з висотою рослин. В.Г.Стенхіл в результаті обробки дослідних та літературних даних отримав формулу:

$$\lg \frac{d}{h_o} = -0{,}154, \qquad (2.41)$$

а Коуен використовував співвідношення:

$$\frac{d}{h_o} = 0{,}64 \qquad (2.42)$$

Товщина шару витіснення залежить від виду рослин, характеру листя, розподілу щільності листя по висоті та ін. Для зернових культур значення d=2/3 h, для люцерни d=3/4 h; для бавовни d = 4/5 h.

Від висоти рослин також залежить і величина параметру шорсткості z_o.

z_o також залежить від гущини стояння рослин і їх виду, а в лісі – від пори року.

Дж.Н.Том запропонував рівняння для визначення z_o:

$$z_o = 0{,}36(h_o - d) \qquad (2.43)$$

Багато дослідників вважають, що параметр шорсткості і товщина шару витіснення є функціями швидкості вітру. Шорсткість трав'яного покриву зменшується через збільшення швидкості вітру. Це справедливо тільки для трав'янистих рослин з м'яким стеблом. Для жорстко-стеблових рослин (соняшник, кукурудза та ін.), а також лісових дерев, невелике розхитування верхівок і крон дерев не зменшує шорсткість.

Зміна шорсткості призводить до зміни коефіцієнта опору. Для умов нейтральної термічної стратифікації коефіцієнт опору розраховується за допомогою визначених значень z_o і d з відношення:

$$c_D = \left[\frac{\lambda}{\ln \frac{z-d}{z_o}} \right]^2 \qquad (2.44)$$

В літературі зустрічаються визначені аеродинамічні характеристики різних типів підстильної поверхні (*табл.2.13*).

Таблиця 2.13 –**Аеродинамічні характеристики різних типів покриву (за О.С.Дубовим, Л.П.Биковою, С.В.Марунич)**

Тип покриву	Характеристики покриву		
	h_o, м	s, 1/м	c_D
Дрібнолисті дерева	8-11	1,2	0,02
Сосна	16	1,2	0,03
Кукурудза	2-3	3-6	0,17
Бобові культури	1,2	7	0,05
Штучний покрив із вертикальних циліндрів	0,14	10	0,5

Вид профілів коефіцієнта турбулентності $k(z)$ і швидкості вітру $u(z)$ залежить від гущини фітомаси. Але У.Х.Братсерт запропонував їх визначення в експоненціальній формі:

$$k(z) = k(h_o)\exp\left[-a_m\left(1-\frac{z}{h_o}\right)\right]; \qquad (2.45)$$

$$\bar{u}(z) = u(h_o)\exp\left[-a_\omega\left(1-\frac{z}{h_o}\right)\right], \qquad (2.46)$$

де h_o – висота рослин;

a_m і a_ω – параметри затухання, що визначаються:

$$a_\omega = \frac{A_k \cdot h_o}{(h_o - d)}, \qquad (2.47)$$

де A_k – стала величина, становить близько 1,0.

Значення a_ω зростає із збільшенням висоти рослин і гущини рослинного покриву (РП). Для щільного РП a_ω =3,0.

Параметр затухання a_m визначається з формули:

$$a_m = (2a_d - a_\omega), \qquad (2.48)$$

де a_d = 2,0.

Значення $k(h_o)$ визначається із співвідношення:

$$k(h_o) = \lambda \cdot u_*(h_o - d) \qquad (2.49)$$

Швидкість вітру на верхній межі РП $\bar{u}(h_o)$ отримують шляхом заміни $z = h_o$ у формулі (*2.39*).

Для розрахунку коефіцієнта турбулентності Д.Грант запропонував формулу:

$$k(L) = 0{,}7^L, \qquad (2.50)$$

де L – відносна площа листя РП.

Питома площа поверхні фітомаси розраховується з виразу

$$s = L/V, \qquad (2.51)$$

де V - об'єм, см^3.

За даними А.П. Бойко на верхній межі посіву будь-якої висоти за однакової питомої поверхні листя та постійних значень c_D і a_m, а вітер майже однаковий (*табл.2.14*). Коефіцієнт турбулентності збільшується з ростом h_o і зменшенням s (*табл.2.15*).

Таблиця 2.14 – **Розрахункові значення швидкості вітру (см·сек$^{-1}$) на верхній межі посіву**

Висота посіву,см	Питома діюча поверхня фітомаси, см$^{-1}$										
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
30	32,8	27,5	24,6	22,6	21,1	19,9	19,0	18,1	17,4	16,8	16,3
40	38,2	29,4	25,5	23,1	21,4	20,1	19,0	18,1	17,3	16,7	16,1
50	42,3	30,4	25,9	23,3	21,4	20,0	18,9	18,0	17,2	16,5	16,0
60	44,7	30,9	26,1	23,3	21,4	19,9	18,8	17,8	17,1	16,4	15,0
70	48,6	31,3	26,3	23,3	21,3	19,8	18,7	17,7	17,0	16,3	15,8
80	51,1	31,6	26,3	23,3	21,3	19,8	18,6	17,7	16,9	16,3	15,7
90	53,3	31,9	26,4	23,3	21,2	19,7	18,6	17,6	16,9	16,3	15,7
100	55,3	32,1	26,5	23,3	21,2	19,7	18,5	17,6	16,9	16,2	15,7
110	57,1	32,3	26,5	23,3	21,2	19,7	18,8	17,6	16,9	16,2	15,7
120	58,7	32,5	26,6	23,3	21,2	29,6	18,5	17,6	16,9	16,2	15,7

Таблиця 2.15 – **Розрахункові значення коефіцієнта турбулентності ($см^2 \cdot с^{-1}$) на верхній межі рослинності (за А.П. Бойко)**

Висота посіву, см	Питома діюча поверхня фітомаси, $см^{-1}$										
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
30	91	103	106	105	103	100	97	94	90	87	84
40	121	151	154	151	146	139	132	125	119	112	106
50	151	205	206	198	187	176	163	152	142	132	123
60	181	262	259	244	226	208	190	175	160	147	136
70	211	323	312	288	262	237	214	193	175	159	145
80	241	386	365	330	295	262	233	208	186	167	151
90	271	450	418	371	325	284	249	220	195	174	156
100	301	577	470	408	352	303	263	229	202	179	159
110	331	584	520	444	376	320	274	237	207	182	162
120	361	653	569	474	398	334	284	243	211	185	164

Приклад:

1) Розрахувати питому площу поверхні фітомаси кукурудзи за формулою (*2.51*) і даними *табл.2.17*.

2) Розрахувати: величину шару витіснення за формулою (*2.42*); параметр шорсткості – (*2.43*); швидкість вітру на верхній межі посіву– (*2.52*):

$$u(h_o) = u_{фл.}\left(\lg \frac{h_o}{z_o} \Big/ \lg \frac{h_{фл.}}{z_o} \right), \qquad (2.52)$$

де $h_{фл.}$ – висота флюгера = 6м або з *табл.2.13*.

3) Розрахувати значення параметра затухання за формулою (*2.47*).

4) Визначити швидкість вітру за формулою (*2.46*) при різних значеннях висоти посіву до верхньої межі (*табл.2.16*).

5) Розрахувати профіль коефіцієнта турбулентності обома способами:

а) розраховується значення $k(h_o)$ за формулою (*2.49*), (λ – стала Кармана становить 0,38; u_* відшукується в *табл.2.16*;

б) розраховується параметр затухання a_m з формули (*2.48*);

в) визначається коефіцієнт турбулентності $k(z)$ з формули (*2.45*).

Після розрахунків будуються графіки вертикальних профілів швидкості вітру в посіві та коефіцієнта турбулентності;

г) визначити площу листя кукурудзи від верхньої межі посіву через 10 см до низу;

д) визначити коефіцієнт турбулентності за формулою (*2.50*) з верхньої межі посіву до низу;

ж) побудувати графіки вертикальних профілів площі листя і коефіцієнта турбулентності.

Таблиця 2.16 – **Значення динамічної швидкості u_*, см·с$^{-1}$**

Висота посіву, см	Діюча поверхня фітомаси, см$^{-1}$										
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
30	7,51	8,2	8,5	8,6	8,7	8,8	8,8	8,8	8,8	8,7	8,7
40	7,51	8,7	9,1	9,3	9,4	9,4	9,4	9,3	9,2	9,2	9,1
50	7,51	9,3	9,7	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,9	9,5	9,4
60	7,51	9,8	10,3	10,4	10,4	10,3	10,2	10,0	9,9	9,8	9,6
70	7,51	10,3	10,8	10,8	10,8	10,6	10,5	10,3	10,1	9,9	9,8
80	7,51	10,8	11,2	11,2	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,1	9,9
90	7,51	11,2	11,6	11,6	11,7	11,1	10,9	10,6	10,4	10,2	10,0
100	7,51	11,7	12,0	11,9	11,6	11,3	11,0	10,8	10,5	10,3	10,0
110	7,51	12,1	12,4	12,2	11,9	11,5	11,2	10,9	10,6	10,3	10,1
120	7,51	12,5	12,7	12,4	12,1	11,7	11,3	11,0	10,6	10,4	10,1

Розрахунок наводиться в *табл.2.17* (λ= 0,38; h_o - d = 100-64; a_d = 2,0; a_m = 2·2,0 - 2,75 = 1,25).

Таблиця 2.17

Висота, см	L, м^2/м^2	$s=L/V$	u_*	$u(z)$	$k(h_o)$	$k(z)$	$k(L)$
1	2	3	4	5	6	7	8
90-100	L_{90} =0,2	0,00		0 1,89 5 2,20	0 1,5	0,43	0,49
80-100	L_{80} =0,4	0,01	11,7	10 2,52 15 2,83	10 1,5	0,49	0,46
70-100	L_{70} =0,7	0,02	12,0	20 3,46 25 3,78	20 1,5	0,55	0,47
60-100	L_{60} =1,3	0,03	11,9	30 4,41 35 5,04	30 1,5	0,62	0,49
50-100	L_{50} =1,7	0,04	11,6	40 5,98 45 6,94	40 1,6	0,75	0,53
40-100	L_{40} =1,8	0,04	11,6	50 7,87 55 9,13	50 1,6	0,86	0,54
30-100	L_{30} =2,0	0,05	11,3	60 10,39 65 11,97	60 1,6	0,97	0,63
20-100	L_{20} =2,1	0,05	11,3	70 13,54 75 15,75	70 1,6	1,20	0,78
10-100	L_{10} =2,15	0,05	11,3	80 17,92 85 20,79	80 1,6	1,25	0,84
0-100	L_0 =2,0	0,05	11,3	90 23,62 95 27,40 100 31,50	–	–	0,93

3 ВОДНИЙ РЕЖИМ СИСТЕМИ ГРУНТ-РОСЛИНА

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

Для оцінки водопостачання рослин, які вирощуються на різних грунтах, 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 грунті впродовж всього періоду вегетації рослин. Спостереження проводяться на всій глибині кореневого шару. Спостереження виконуються згідно з [11,28]. Найбільш поширеним способом визначення вмісту вологи в грунті є спосіб висушування зразків. Існують і інші способи, але саме спосіб висушування зразків є еталоном. Докладніше це викладено у [28].

Запаси продуктивної вологи у грунті – величина, яка постійно змінюється. Причин змін багато. Це і надходження води в грунт із різних джерел, найсуттєвішим із них є опади, це витрати води за рахунок проникнення у нижні шари грунту, та за рахунок випарування і т.ін. Сукупність усіх величин надходження вологи у грунт та витрат називається *водним балансом*. Щодо потреб сільськогосподарського виробництва, то залишок водного балансу визначається у мм продуктивної вологи. Водний баланс складається із <u>приходної частини</u>, яка вміщує опади ($\theta_{оп}$), а при зрошенні ще й норму поливу ($\theta_{зр}$), надходження із грунтових вод ($\theta_{гр}$) і за рахунок конденсації водяної пари ($\theta_{к}$), а також надходження води внаслідок переміщення із сусідніх шарів грунту ($\theta_{пп}$) і за рахунок просочування ($\theta_{вп}$) та <u>витратної частини</u>: витрат води на випарування ($\theta_{в}$), поверхневий стік ($\theta_{пс}$),транспірацію ($\theta_{тр}$) та переміщення всередині грунту ($\theta_{вс}$), а також інфільтрацію ($\theta_{ін}$). Таким

чином, якщо початковий запас води у грунті – $W_п$, й кінцевий – $W_к$, то рівняння водного балансу має вигляд:

$$W_к - W_п = [(\theta_{оп} + \theta_{зр}) + \theta_{гр} + \theta_{пп} + \theta_{вп} + \theta_к] - \\ -[(\theta_в + \theta_{гр}) + \theta_{пс} + \theta_{вс} + \theta_{ін}] \quad (3.1)$$

Рівняння може бути скорочено 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 [15] 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 всередені грунту 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 грунту, міри розвитку рослин та їх виду, глибини залягання грунтових вод. Швидкість витрат води влітку впродовж вегетаційного періоду рослин дуже змінюється. Величина змін залежить від грунтово-кліматичної зони, рельєфу, виду сільськогосподарських культур та стану їх розвитку. В кожній грунтово-кліматичній зоні тип річної зміни запасів продуктивної вологи свій. Визначено 5 типів річної зміни запасів продуктивної вологи (*рис.3.1*).

3.1 Пересування вологи в грунті. Визначення водного потенціалу

Стан, розвиток і формування врожаю сільськогосподарських культур значною мірою визначаються кількістю вологи в грунті.

Грунт слід розглядати як ефективно акумулюючу речовину. Тривалий час грунт здатний утримувати вологу, яка використовується рослинами.

Фізичні властивості грунту, в тому числі і здатність до акумуляції вологи, значною мірою залежать від того, яка частка загального об’єму грунту 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 обсягами і масами твердої, рідкої і газової фаз грунту визначають фізичні умови прояву родючості грунту. Ідеальні умови створюються, коли тверда фаза складає 50 %, а рідка і газова – по 25 %. Більшу частину рідкої фази складає вода.

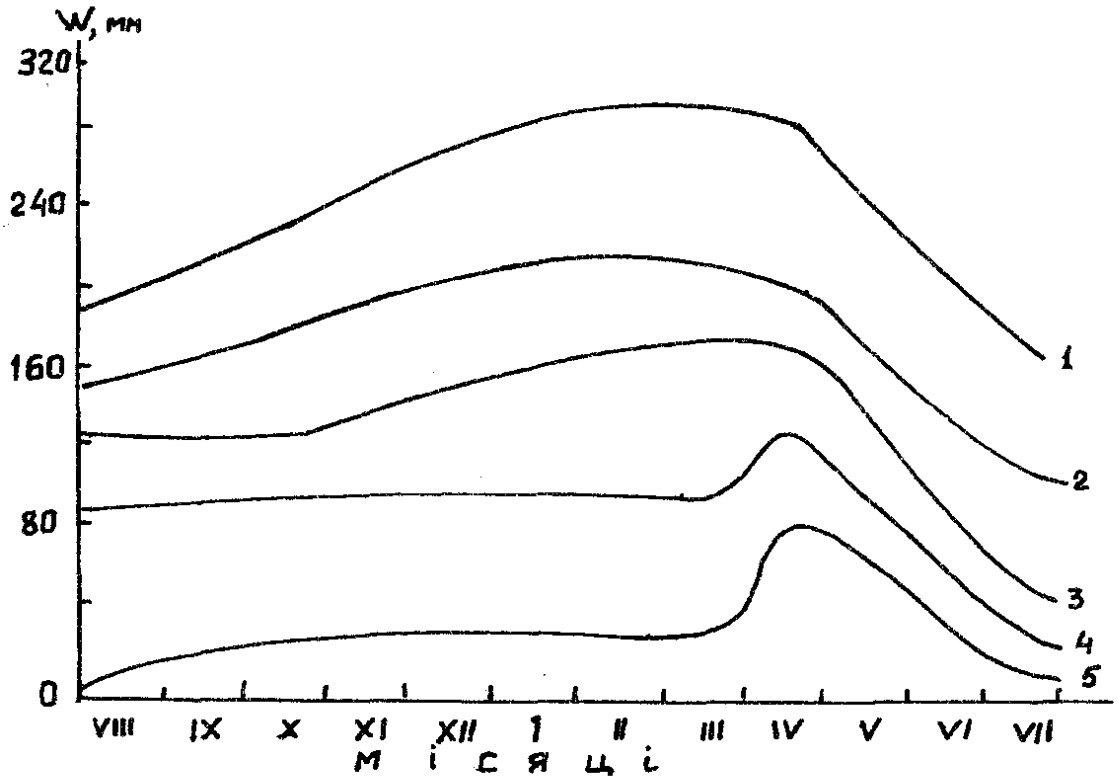


Рис.3.1 – **Типи річного ходу запасів продуктивної вологи мм у метровому шарі грунту.**

Типи: 1 – обводнення; 2 – капілярного зволоження; 3 – повного весняного промочування; 4 – слабкого весняного промочування (посушливі райони); 5 – слабкого весняного промочування (сильно посушливі райони) (за С.О. Веріго, Л.О.Разумовою).

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

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

Волога в грунті знаходиться у роздрібненому стані, вона вкраплена в порах різних розмірів та форм і містить в собі цілий ряд позитивних і негативних іонів, а це обумовлює неоднорідність фізичних та хімічних властивостей грунтової вологи.

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

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

Для характеристики енергетичного стану води використовують хімічний потенціал μ. Потенціал води в грунті – це залишок між вільними енергіями води в грунті і води в стандартному стані (в резервуарі з чистою водою при стандартному тиску P_o, температурі T_o і розташованому на висоті h_o).

Сумарний потенціал грунтової вологи Ψ_t – це кількість роботи на одиницю маси чистої води, яку необхідно виконати для переносу одиниці води від її стану в грунті до еталонного стану.

Значення сумарного потенціалу визначається:

1) гравітаційним полем;
2) впливом розчинних солей;
3) впливом твердої фази;
4) тиском газоподібної фази води.

Сумарний потенціал грунтової вологи складається з:

1) гравітаційного (Ψ_p);
2) осмотичного ($\Psi_{осм}$);

3) потенціалу тиску або тензометричного потенціалу (Ψ_g).

Повний потенціал:

$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_g + \Psi_{осм} \qquad (3.2)$$

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

$$\frac{V}{A_t} = q = -K \operatorname{grad} \Phi, \qquad (3.3)$$

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

gradΦ – градієнт гідравлічного потенціалу, тобто та рушійна сила, під впливом якої і рухається вода.

Густина потоку q має розмірність швидкості:

$$q = \frac{M^3}{M^3 C} = \frac{M}{C}, (\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с} – \text{м/с}) \qquad (3.4)$$

Для розрахунку густини потоку (або просто потоку) вологи крізь межу шару грунту використовується диференційне рівняння:

$$q = -k \frac{\mathrm{d}\Psi_S}{\mathrm{d}Z} + k \qquad (3.5)$$

Кінцевий вигляд цього рівняння:

$$q_i^j = k_i^j \cdot k_{i+1}^j \left[\frac{\Psi_{S_{i+1}}^j - \Psi_{S_i}^j}{h_S} + 1 \right], \qquad (3.6)$$

де q_i^j – градієнт грунтової вологи;

Ψ_{S_i} – водний потенціал;

k – вологопровідність грунту;

j – номер доби розрахункового періоду;
i – шар грунту;
h – товщина шару.

Для визначення потенціалу грунтової вологи в діапазоні від вологості в′янення (ВВ) до повної вологоємності (ПВ) використовується емпірична залежність [16]:

$$\Psi_{S_i}^{j} = \Psi_o \exp\left[-7{,}76\frac{W_i^{j} - W_i^{BB}}{W_i^{ПВ} - W_i^{BB}}\right], \qquad (3.7)$$

де Ψ_o – максимальний потенціал грунтової вологи;
W_i^{BB} – вологість в'янення i -го шару грунту;
$W_i^{ПВ}$ – повна вологоємність (%);
W_i^{j} – фактична вологість грунту (%).

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

$$k_i^{j} = \gamma\left[\frac{W_i^{j} - W_i^{BB}}{W_i^{ПВ} - W_i^{BB}}\right]^{F}; \qquad (3.8)$$

$$\gamma = \frac{k_o^{j}\left[0{,}01W_i^{ПВ}\right]^3}{\left[W_i^{BB}\right]^2 \cdot \left[1 - 0{,}01W_i^{ПВ}\right]^2}, \qquad (3.9)$$

де γ – емпіричний коефіцієнт, що залежить від типу грунту;
0,01 – постійний коефіцієнт.

Приклад:

1) Розрахувати вологопровідність грунту K_i для кожного шару до глибини 100см, використовуючи формули (*3.8*) і (*3.9*): область Київська, станція Біла Церква, грунти – чорнозем легкосуглинковий. Розрахунок наводиться в *табл. 3.1*.

2) Розрахувати потенціал грунтової вологи Ψ_{S_i} згідно з формулою (*3.7*), *табл.3.1*.

3) Розрахувати густину потоку або інакше потоки вологи крізь межі шарів грунту згідно з рівнянням (*3.6*).

Таблиця 3.1 – ***γ=30,4; F = 3,5; Ψ$_o$ = 15 бар***

Фактичні дані				Розраховані дані			
Шар грунту, см	W_i, %	$W^{ВВ}$, %	$W^{ПВ}$, %	Вологопровідність грунту		Потенціал грунтової вологи Ψ_{S_i}	Густина потоку q_i^j
				γ	k_i		
0-10	20,1	8,0	36,6	0,061	0,0029	14,67	0,0032
0-20	19,6	7,9	37,9	0,070	0,0026	14,70	0,0027
0-30	19,2	8,6	36,7	0,052	0,0018	14,79	0,0019
0-40	19,0	8,4	40,2	0,077	0,0016	14,81	0,0016
0-50	18,1	8,3	45,8	0,273	0,0024	14,72	0,0025
0-60	18,0	8,0	46,5	0,176	0,0016	14,81	0,0016
0-70	18,5	9,0	47,1	0,139	0,0011	14,87	0,0011
0-80	18,8	9,4	48,0	0,141	0,0010	14,88	0,0010
0-90	19,0	9,1	42,7	0,091	0,0012	14,86	0,0012
0-100	19,8	9,0	45,4	0,113	0,0017	14,80	0,0017

4) Розрахувати значення водного потенціалу Ψ_{S_i} при різних значеннях вологості грунту для різних типів грунту (формула (*3.7*)). Розрахунки наводяться у *табл. 3.2*.

Таблиця 3.2 – **Розрахунок водного потенціалу Ψ_{S_i} для різних типів грунту і різної вологості**

Тип грунту	Вологість грунту *W* (%)						
	10	15	20	25	30	35	40
Піщаний	2,65	0,86	0,30	0,09	0,03	0,09	0,0031
Супіщаний	28,4	0,90	0,28	0,09	0,03	0,01	0,0028

3.2 Визначення запасів продуктивної вологи

Роль грунтової вологи у житті рослин важко переоцінити. Волога потрібна рослинам протягом всього їх життя. У різні періоди вегетації для нормального росту та розвитку рослинний організм потребує різну кількість грунтової вологи та використовує її з різних шарів грунту. На рослину однаково несприятливо впливає як нестача, так і надлишок грунтової вологи. Через це вологість грунту часто є вирішальним фактором отримання врожаю. Крім цього, присутність вологи у верхньому шарі грунту повністю визначає умови обробки грунту та впливає на проведення інших видів сільськогосподарських робіт.

Таким чином, вологозабезпеченість рослин, а також можливість та якість проведення сільськогосподарських робіт залежить від вмісту вологи у грунті, який буває неоднаковим по території та безупинно змінюється з часом. Тому треба систематично його враховувати. Це досягається регулярними спостереженнями.

3.2.1 Інструментальний метод визначення вологості грунту

У системі Держкомгідромету кількість вологи, яка міститься у грунті, визначають по масі води, що випаровується внаслідок висушування відібраних у полі зразків грунту [28]. Для сушки грунту використовують електричні шкафи з терморегулятором. Висушування грунтових проб, які розташовуються у спеціальних алюмінієвих стаканчиках, проводять при температурі 100–105^{0}С до постійної маси. Це дозволяє вилучити з грунту і зв′язану вологу. Зважують грунт на технічних вагах (механічних чи електричних) з точністю до 0,1 г. Отже, до величини вологості грунту входить сума усіх категорій грунтової вологи, як доступної, так і недоступної для рослин.

Вміст вологи у грунті не залишається постійним. Він змінюється у часі та у просторі в залежності від метеорологічних факторів, типу грунту, рельєфу, виду та віку рослин та ін. Спостереження за вологістю грунту проводять регулярно, у теплий період року кожну декаду, по восьмих днях у чотирикратній повторності до глибини 1,0–1,5м, відбираючи зразки грунту через кожні 10 см. Для отримання зразків використовують грунтовий бур АМ-26М, а при його відсутності – АМ-26.

Записують результати спостережень за вологістю грунту у книжку КСГ-3. У цій же книжці виконують первинну обробку даних спостережень, розраховують процент вологості у кожному шарі грунту окремо по повторностях.

Вологість грунту у відсотках (W%) розраховують як відношення різниці маси зразку грунту до сушки ($M_{вол}$) та після неї (M_c) до маси

абсолютно сухої навіски (M_c)

$$W\% = \frac{M_{вол} - M_c}{M_c} \cdot 100 \ , \qquad (3.10)$$

де $M_{вол}$ - M_c – маса зразків до висушування і після, г.

Вологість грунту розраховують з точністю до 0,1%.

Якщо з будь-якої причини дані проби випадають, їх треба доповнити до розрахунку середнього проценту [11]. Процент вологості грунту пропущеної глибини розраховують як середнє з даних вищої та нижчої глибини конкретної повторності.

Для прискорення розрахунків можна використовувати "Таблиці для розрахунку вологості грунту" [12]. Вологість грунту по таблицях Овчіннікова отримують по масі води, що випаровується, та масі абсолютно сухого грунту. Таблиці Кривошликова дозволяють вологість грунту визначити по масі сухого та вологого зразку, не розраховуючи масу води, що випаровується.

Результати спостережень за вологістю грунту проходять технічний контроль. Середні (з чотирьох) значення вологості по кожному шару грунту є вихідною інформацією для розрахунку запасів продуктивної вологи по таблиці ТСГ-7.

Після складання таблиці ТСГ-7 за окремі декади складається підсумкова таблиця за рік "Запаси продуктивної вологи в грунті, (мм) за міжфазні періоди розвитку сільськогосподарських культур у *n*-ому році" (ТСГ-60) та будується комплексний графік (*рис 3.2*).

Запаси продуктивної вологи в грунті за міжфазні періоди розраховуються так, як середнє із усіх строків спостережень за вологістю грунту за період між настанням двох суміжних фаз (*Додаток В*).

У тих випадках, коли початок та кінець міжфазного періоду не співпадають зі строками взяття проб, до підрахунків включаються чинні спостереження за усі строки, починаючи і закінчуючи визначеннями у дати, найближчі до дат масового наступу фаз.

Наприклад: вихід у трубку озимої пшениці 31.V, фаза колосіння – 26.VI, середні запаси вологи за період "вихід у трубку – колосіння" визначаються за даними визначення вологості грунту, які проводились 28.V – (121 мм), 8.VI – (106 мм), 18.VI - (89 мм) та 28VI –(84 мм). Вони становлять

$$\overline{W} = \frac{121 + 106 + 89 + 84}{4} = \frac{400}{4} = 100 мм$$

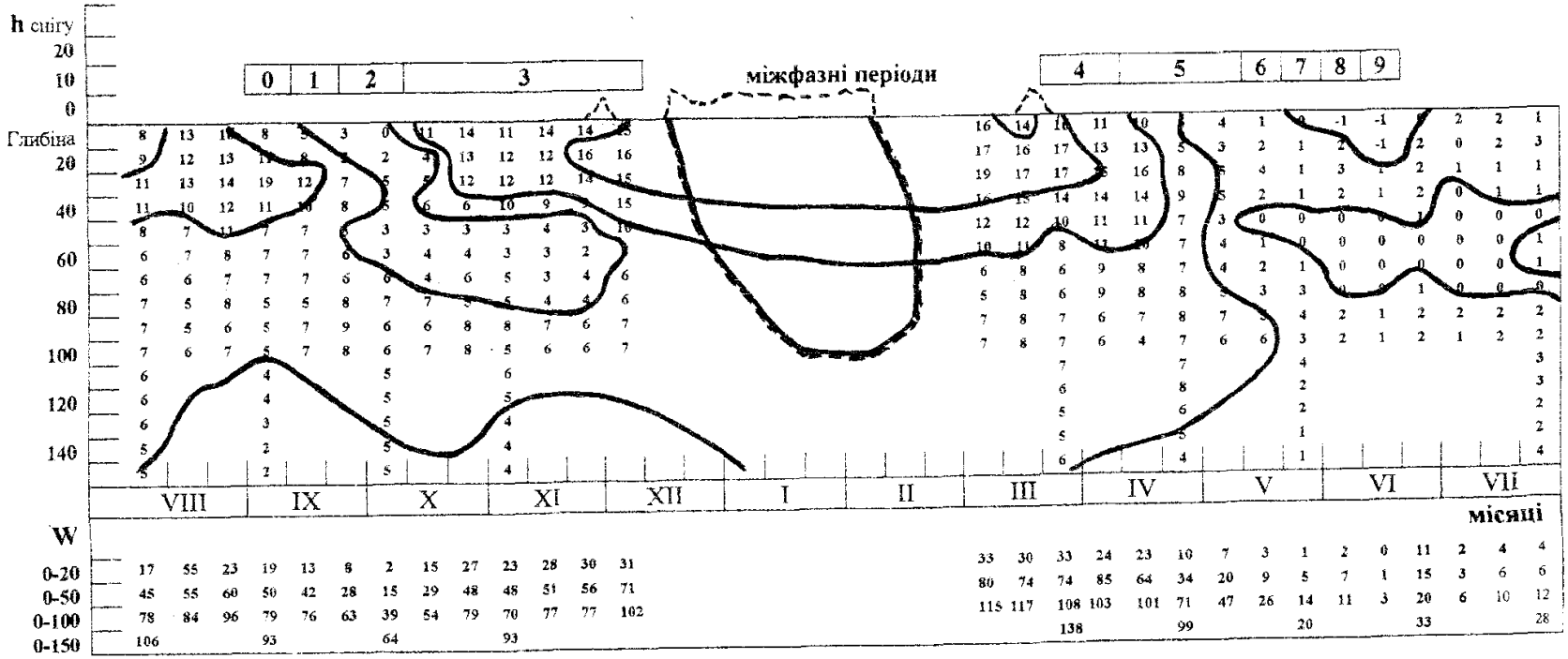


Рис.3.2 – **Прикдад комплексного графіка “Запаси продуктивної вологи і промерзання грунту під озимою пшеницею у 1971-72 рр.”**

Агрометстанція Одеса: *а* – ізоплети запасів продуктивної вологи у десятисантиметрових шарах грунту; *б* – глибина промерзання грунту (см); *в* – висота снігового покриву; *г* – міжфазні періоди озимої пшениці: 0 – сівба - сходи; 1 – сходи - третій лист; 2 – третій лист - кущіння ; 3 – кущіння - припинення вегетації; 4 – відновлення вегетації - вихід у трубку; 5 –вихід у трубку - колосіння; 6 – колосіння - цвітіння; 7 – цвітіння - молочна стиглість; 9 – воскова стиглість - повна стиглість.

На комплексному графіку (*рис.3.2*) відображаються запаси продуктивної вологи, промерзання та відтанення грунту. Графіки будуються для кожної ділянки спостережень. Запаси продуктивної вологи представляють у вигляді ізоплет, які відображають вологість всієї товщини шару грунту.

Техніка побудови графіка. На осі ординат відкладається глибина грунтового шару у масштабі 1 см – 10 см глибини. На осі абсцис відкладається час у масштабі 1 мм – 1 день. Дані про запаси вологи вписуються у поле графіка для кожної глибини. Цифри наносяться на місці перетину умовних перпендикулярів від осі абсцис та від осі ординат, які відповідно означають дату визначення та глибину грунтового шару. Ізоплети запасів продуктивної вологи кресляться з інтервалами у 5 мм. Напрям на рисунку від глибини та від строку до строку визначається окомірно.

Окрім запасів продуктивної вологи, промерзання та відтанення грунту, на графік також наносяться висота снігу взимку, фази розвитку рослин – влітку.

Комплексні графіки складаються щорічно для основних сільськогосподарських культур.

3.2.2 Розрахунок залежності грунтової вологи від основних метеорологічних факторів і міри зволоження грунту

Грунтова 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 грунтової води формуються внаслідок взаємодії грунту, рослин і метеорологічних умов. В зоні високого залягання грунтових вод, крім того, впливає їх рівень. В цілому динаміка запасів грунтової вологи у вегетаційний період характеризується поступовим зменшенням запасів. Витрати води в літній період не компенсуються випадаючими опадами і тільки в період дозрівання культур спостерігається збільшення запасів вологи.

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 грунтової вологи у вегетаційний період рослин дуже змінюється. В районах, де грунтові води знаходяться глибоко і капілярний підтік відсутній, найбільша кількість

вологи витрачається через транспірацію із шару грунту, де розташоване коріння. Витрати сягають найбільших значень у репродуктивний період.

С.О.Веріго [15] запропонувала кількісну закономірність зміни (ΔW) динаміки запасів продуктивної вологи під озимими і яровими зерновими культурами в залежності від метеорологічних факторів:

$$\Delta W = aW_i + br - ct + d \qquad (3.11)$$

де W_1 – початкові запаси продуктивної вологи, мм ;

t – температура повітря за декаду, ^{0}С;

r – сума опадів за декаду, мм.

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

На підставі цієї закономірності (*3.11*) С.О.Веріго був розроблений метод прогнозу запасів продуктивної вологи під ярою та озимою пшеницею.

Здатність рослин використовувати вологу з грунту визначається співвідношенням коріння і наземної маси та їх розвитком .

Розробляючи прогноз запасів продуктивної вологи для ярих зернових культур, С.О.Веріго розбила вегетаційний період на 3 періоди, які відрізняються потребою рослин у воді та розмірами і будовою надземної маси і коріння:

1 – формування сходів і листя (від сівби до виходу в трубку);

2 – формування колосу і цвіту (від виходу в трубку до цвітіння);

3 – формування зерна (після цвітіння).

Для цих трьох періодів були встановлені залежності зміни запасів продуктивної вологи від запасів вологи на початок розрахункового періоду, суми опадів за період та середньої температури повітря. Найдоцільніше розрахунки проводити за декадними даними вказаних величин. Залежності одержані окремо для чорноземних та підзолистих грунтів.

Початковими даними при складанні прогнозу запасів продуктивної вологи у грунті є фактичні дані про запаси вологи у грунті на початок розрахунку, фази розвитку зернових та синоптичні прогнози температури, опадів.

Розрахунок зміни запасів продуктивної вологи під зерновими культурами виконується за рівнянням (*3.11*), а числові коефіцієнти наводяться у *табл.3.3*.

Таблиця 3.3 – **Коефіцієнти a, b, c, d**

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

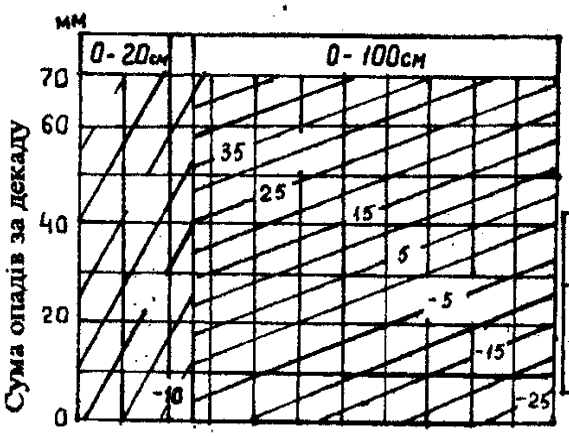
За цими рівняннями (*табл.3.3*) для прискорення розрахунків побудовані графіки (*рис.3.3а,б,в*). На *рис.3.3* на осі *x* – запаси вологи на початку декади, на осі *y* – сума опадів за декаду, для якої виконується розрахунок; у полі графіків – зміна запасів продуктивної вологи за декаду. До кожного графіка додається таблиця поправок на температуру повітря. Очікувані запаси продуктивної вологи (W_2) становлять суму запасів вологи на початок декади (W_n) та зміну їх, зняту з графіка з поправкою на температуру, тобто:

$$W_2 = W_n + \Delta y\ (\pm\Delta t)$$

Побудовані також графіки, за якими визначаються очікувані запаси вологи, а не їх зміна. Графіки побудовано окремо для ярої пшениці та озимої пшениці.

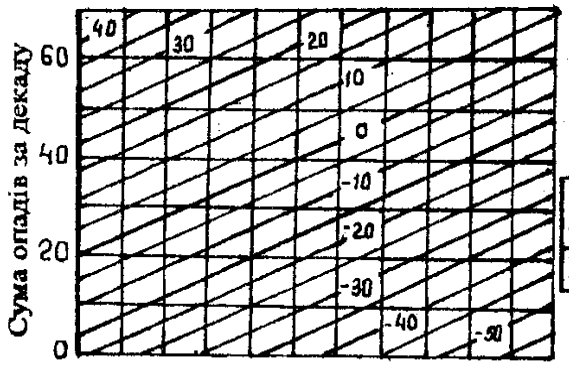
Розрахунок очікуваних запасів вологи виконується послідовно для кожної декади розвитку. Для цього розраховані запаси вологи приймаються за початкові для наступної декади. Температура повітря та опади використовуються за ту декаду, для якої ведуться розрахунки.

Якщо в розрахунках отримано від′ємний результат, то вони прирівнюються до *О*.



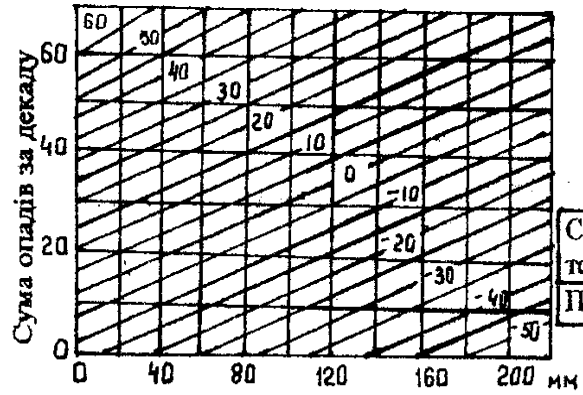
Поправка на температуру (*а*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	5-7	8-12	13-15	16-19
Поправка (мм) для шару				
0-20 см	0	0	0	-1
0-100 см	1	0	-1	-2



Поправка на температуру (*б*)

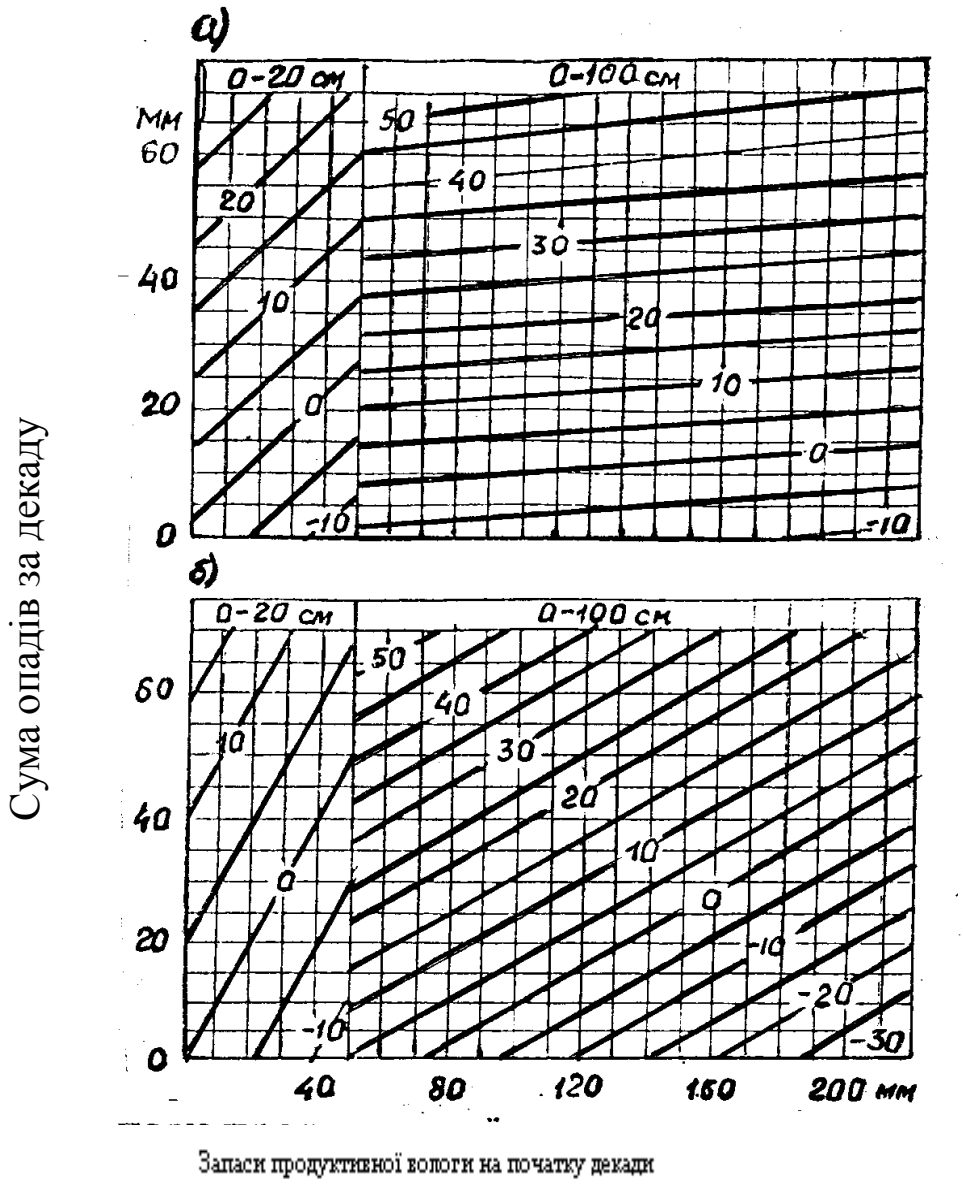
Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	13-27	вище 27
Поправка (мм)	0	1



Поправка на температуру (*в*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	1	0	-1	-2

Рис.3.3 – **Зміна запасів грунтової вологи у зоні чорноземних грунтів під ярою пшеницею (мм за декаду).**



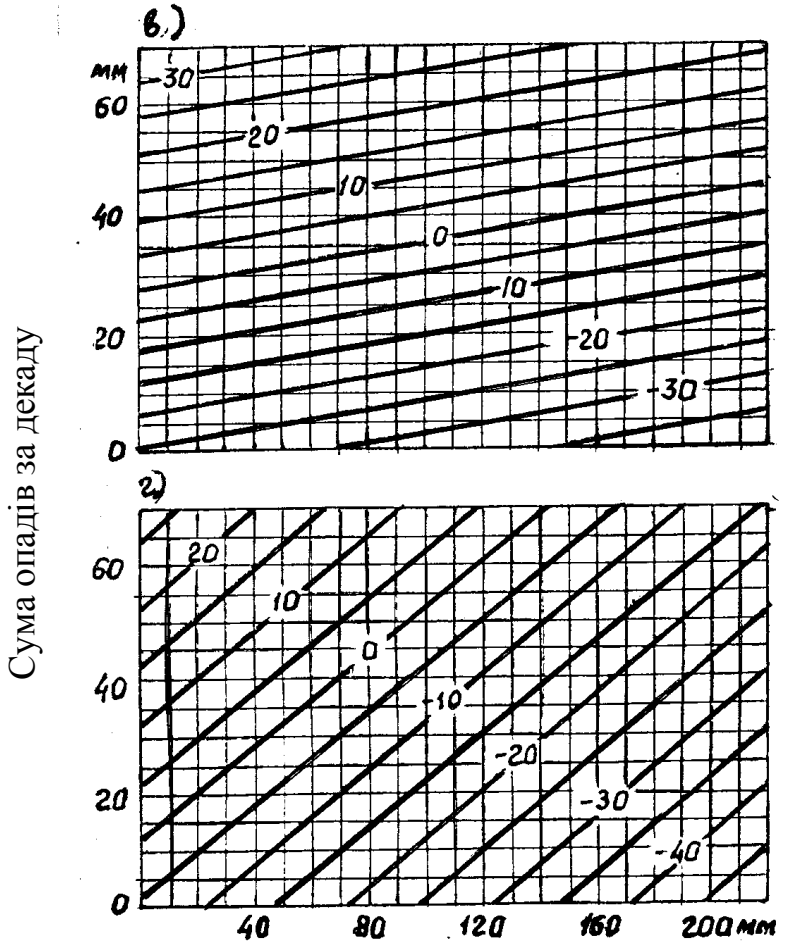
Поправка на температуру (*а*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	7-8	9-11	12-13	14-16	17-18	19-21	22-23	24-26	27-28
Поправка (мм)	5	4	3	2	1	0	–1	–2	–3

Поправка на температуру (*б*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	1	0	-1	-2

Рис.3.4(*а*,*б*) – **Зміна запасів продуктивної вологи під озимою пшеницею у зоні чорноземних грунтів (мм за декаду):**
***а* – період осінньої вегетації; *б* – період весняного відростання.**



Поправка на температуру (*в*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	-1	0	1	2

Поправка на температуру (*г*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	5-8	9-11	12-15	16-18	19-21	22-24	25-27
Поправка (мм)	4	3	2	1	0	–1	–2

Рис.3.4(*в,г*) – **Зміна запасів продуктивної вологи під озимою пшеницею у зоні чорноземних грунтів (мм за декаду):**

***в* – період формування колосу і квіток; *г* – період формування зерна.**

Очікувані запаси продуктивної вологи під озимою пшеницею розраховуються за рівняннями *табл.3.4*, або графіками С.О.Веріго (*рис.3.4 а,б,в,г*) [41, 42].

Таблиця 3.4 – **Рівняння зв′язку зміни запасів продуктивної вологи у грунті під озимою пшеницею з метеорологічними елементами**

Зона	Період	Шар грунту, см	Рівняння
Чорно-земні грунти	Весняне відростання	0-20	$W_2 = -0{,}70\,t + 0{,}26r - 0{,}25W_1 + 7{,}4$
		0-100	$W_2 = -1{,}12\,t + 0{,}74r - 0{,}23W_1 + 27{,}7$
	Формування колосу і цвіту	0-100	$W_2 = 0{,}05\,t + 0{,}90r - 0{,}07W_1 - 26{,}7$
	Формування зерна	0-100	$W_2 = -0{,}64\,t + 0{,}40r - 0{,}20W_1 + 7{,}4$
Підзо-листі грунти	Весняне відростання	0-20	$W_2 = -0{,}33\,t + 0{,}05r - 0{,}42W_1 + 17$
		0-100	$W_2 = -2{,}26\,t + 0{,}46r - 0{,}21W_1 + 41{,}6$
	Формування колосу	0-100	$W_2 = -0{,}73\,t + 1{,}10r - 0{,}09W_1 - 11{,}4$
	Формування зерна	0-100	$W_2 = -0{,}32\,t + 0{,}80r - 0{,}035W_1 - 15{,}4$

3.2.3 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під картоплею

Метод розроблено С.Б.Мостинською [43]. Він заснований на особливостях коріння картоплі не проникати глибоко у грунт та на впливі температури повітря (t), опадів (r) та зволоження грунту (W_1) на зміну запасів вологи. Особливості розвитку картоплі враховані в тому, що рівняння для розрахунку запасів вологи розроблені для чотирьох міжфазних періодів (*табл 3.5*).

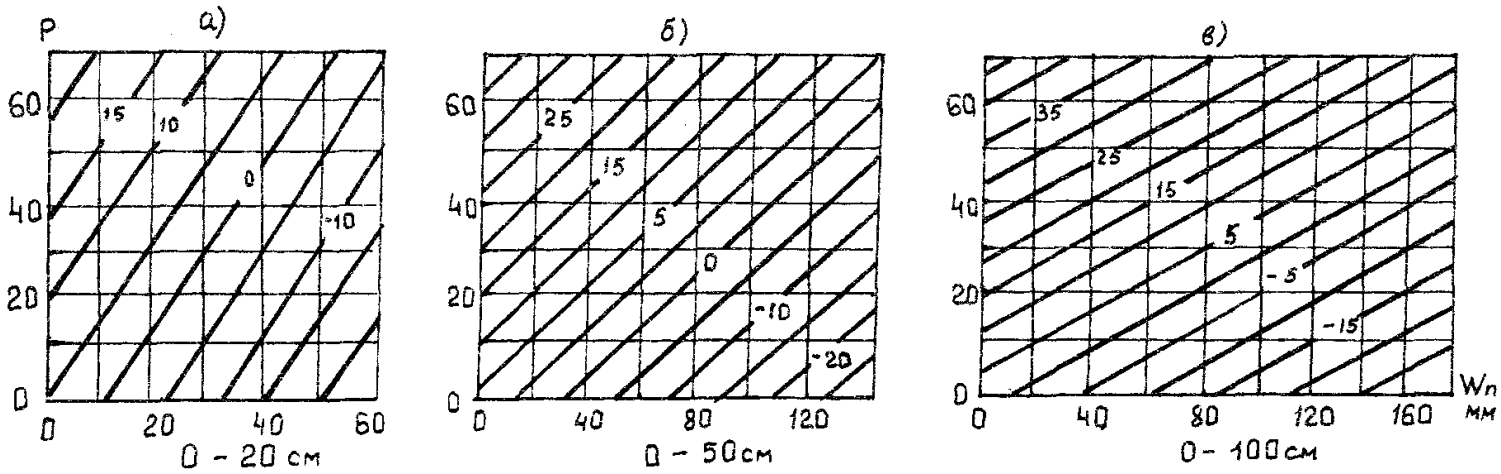
Таблиця 3.5 – **Рівняння зміни запасів продуктивної вологи**

Чорноземна зона

Період розвитку	Шар грунту, см	Рівняння зв′язку
	Картопля	
	0-20	$y = 0{,}01\,t + 0{,}24r - 0{,}42w + 6{,}5$
	0-50	$y = 0{,}21\,t + 0{,}34r - 0{,}29w + 14{,}6$
1. Період формування сходів	0-100	$y = 0{,}22\,t + 0{,}56r - 0{,}18w + 5{,}0$
2. Період утворення	0-20	$y = -0{,}26\,t + 0{,}24r - 0{,}45w + 8{,}5$
бокових пагонів	0-50	$y = 0{,}45\,t + 0{,}45r - 0{,}21w + 5{,}6$
	0-100	$y = -0{,}38\,t + 0{,}88r - 0{,}22w - 12{,}8$
	0-20	$y = -0{,}24\,t + 0{,}40r - 0{,}84w + 2{,}4$
	0-50	$y = -0{,}26\,t + 0{,}75r - 0{,}24w - 2{,}3$
3. Період бутонізації	0-100	$y = 0{,}58\,t + 0{,}57r - 0{,}23w + 14{,}3$
	0-20	$y = -0{,}62\,t + 0{,}31r - 0{,}37w + 11{,}9$
	0-50	$y = -0{,}85\,t + 0{,}54r - 0{,}24w + 14{,}3$
4. Період цвітіння	0-100	$y = -0{,}94\,t + 0{,}72r - 0{,}10w + 7{,}8$
	Люцерна	
1. Ранній весняний період (від початку вегетації до встановлення Т + 15^{0}С)	0-100	$y = 1{,}8\,t + 0{,}70r - 0{,}06w + 4{,}05$
2. Період перші три декади	0-100	$y = -1{,}10\,t + 1{,}06r - 0{,}1w - 5{,}8$
3. Період формування другого укосу (IV–VI декади після переходу температури повітря через +15^{0}С)	0-100	$y = -0{,}6\,t + 0{,}73r - 0{,}21w + 5{,}3$
4. Період після другого укосу до кінця вегетації	0-100	$y = -1{,}1\,t + 0{,}83r - 0{,}16w + 11{,}7$

За вищевказаними рівняннями побудовані графіки, на яких на осі x – запаси продуктивної вологи на початку декади, на осі y – сума опадів за декаду, для якої проводяться розрахунки. У полі графіка (*рис.3.5–3.7*) зміна запасів вологи за декаду. Зміни запасів продуктивної вологи під картоплею розраховуються аналогічно як і для зернових за формулою (*3.11*).

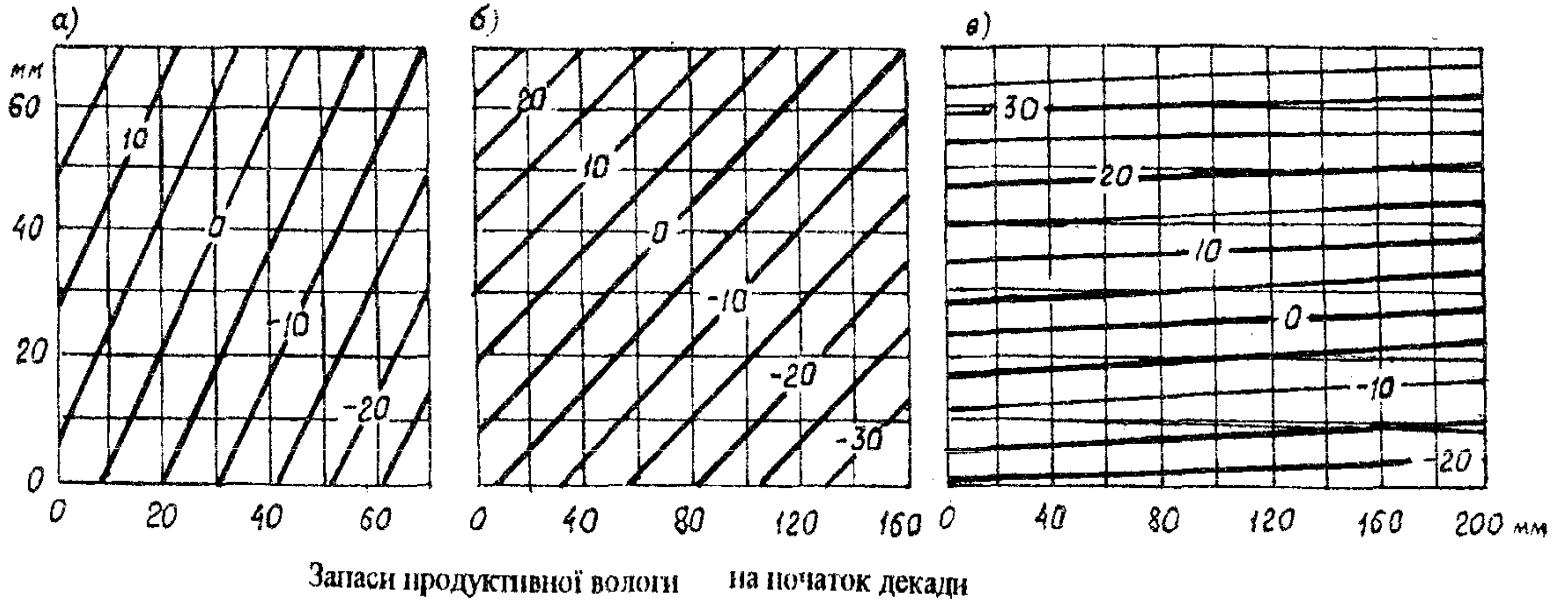
Розрахунок зміни запасів вологи під картоплею потребує відомостей про фази розвитку картоплі (сходів, утворення бокових пагонів, бутонізації і цвітіння). Дати настання вказаних фаз розраховуються за



Поправка на температуру

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Поправка (мм)	9	7	5	4	2	0	–2	–4	–5	–7	–9	–11	3	2	1	0	–1	–2	–3	–4	–5

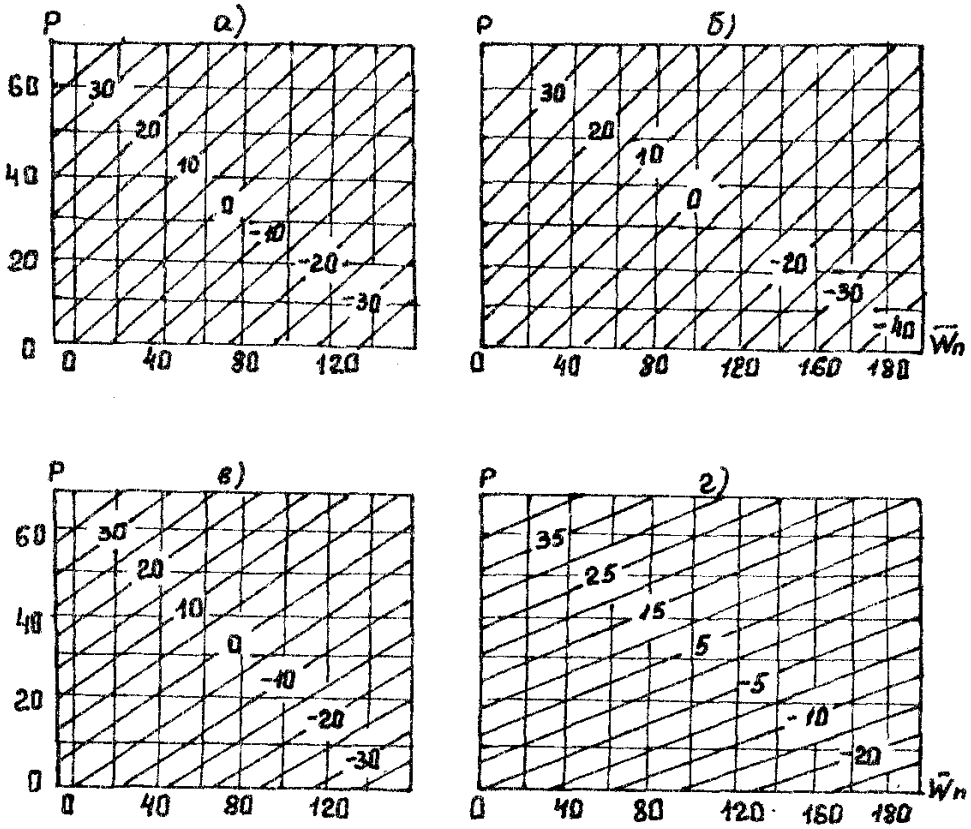
Рис.3.5 – **Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею у період формування сходів:**
а **– у шарі грунту 0-20 см;** ***б*** **–у шарі грунту 0-50 см;** ***в*** **– у шарі грунту 0-100 см.**



Поправка на температуру

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Поправка (мм)	5	4	3	2	1	0	–1	–2	–3	–4	–6

Рис.3.6 – **Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею в період формування бокових пагонів:**
а **– у шарі грунту 0-20 см;** ***б*** **–у шарі грунту 0-50 см;** ***в*** **– у шарі грунту 0-100 см.**



Поправка на температуру (*а,б*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	13	14-15	16-18	19-21	22-23
Поправка (мм)	3	2	1	0	–1

Поправка на температуру (*в,г*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	12-15	16-17	18-22	23-24	25-28
Поправка (мм)	2	1	0	–1	–2

Рис.3.7 – **Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею у період утворення суцвіть та цвітіння:**

а **– у період утворення суцвіть у шарі грунту 0-50 см;** ***б*** **–у період утворення суцвіть у шарі грунту 0-100 см;** ***в*** **– у період цвітіння у шарі грунту 0-50 см;** ***г*** **– у період цвітіння у шарі грунту 0-100 см.**

сумами активних температур (*табл.3.6*).

Таблиця 3.6 – **Суми температур по міжфазних періодах розвитку картоплі**

Фон добрив	Сівба - сходи	Сходи - бутонізація	Бутонізація - цвітіння	Цвітіння - в′янення картоплиння
Ранньостиглі сорти				
високий	320	350	200	350
середній	400	350	200	600
Середньостиглі сорти				
високий	320	450	200	1000
середній	400	450	200	700
Пізньостиглі сорти				
високий	320	500	200	1100
середній	400	500	200	800

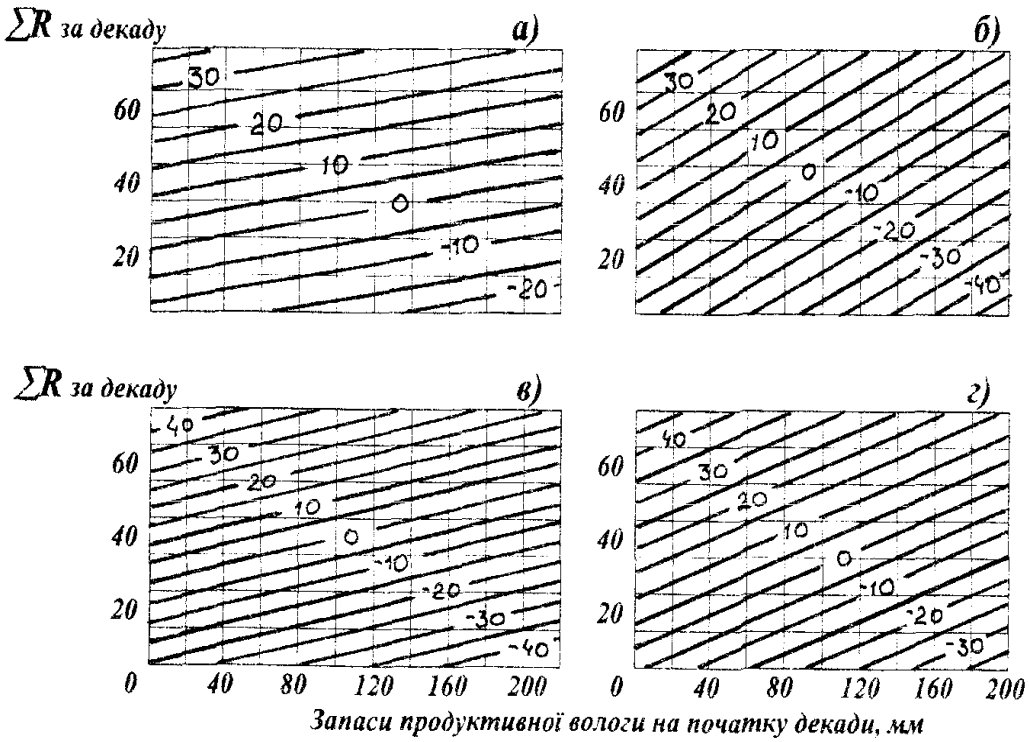
Подібна техніка проведення розрахунків і під конюшиною та люцерною. Початок вегетації сіяних трав співпадає з переходом температури повітря через 5^0С, а цвітіння – через 2 декади після утворення суцвіть. Перший укіс трав співпадає з цвітінням, другий – з переходом температури через 15^0С.

Зміна запасів вологи під конюшиною та люцерною розраховується за графіками *3.8а,б* – від відновлення вегетації до 1-го укосу; *3.8в,г* – від першого укосу до припинення вегетації.

3.2.4 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під кукурудзою

Закономірності зміни запасів продуктивної вологи в грунті під кукурудзою такі ж, як і для інших культур, тобто визначаються величиною рослинної маси, температури повітря, сумою опадів та станом грунту на початку розрахунків.

Головні особливості розвитку коріння кукурудзи обумовлені біологією культури. Коріння розташовується головним чином у верхніх шарах грунту (до 50 см.) Тому Ю.І.Чирковим були розроблені рівняння (*табл.3.7*) та побудовані графіки для розрахунку зміни запасів вологи у шарах 0 20 см та 0-50 см (*рис.3.9 а, б; 3.10-3.12*).



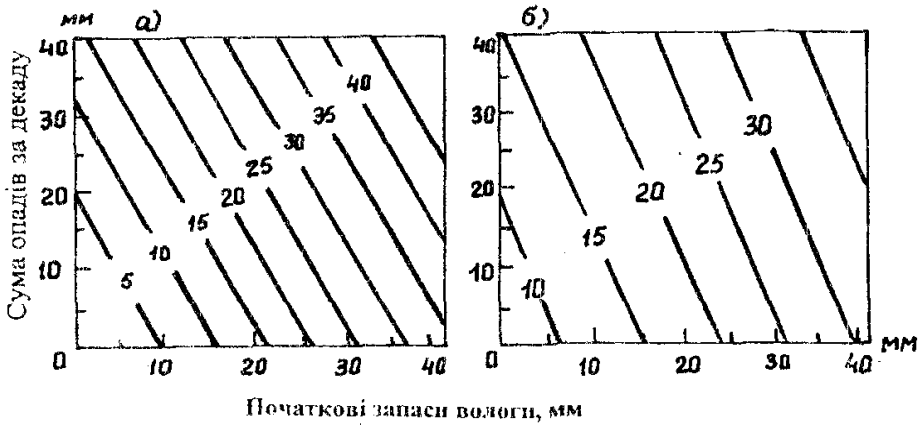
Поправка на температуру а, б

Середня за декаду температура повітря, °С	*13*	*14-15*	*16-18*	*19-21*	*22-23*
Поправка, мм	*3*	*2*	*1*	*0*	*-1*

Поправка на температуру в, г

Середня за декаду температура повітря, °С	*12-15*	*16-17*	*18-22*	*23-24*	*25-28*
Поправка, мм	*2*	*1*	*0*	*-1*	*-2*

Рис.3.8 – **Зміна запасів продуктивної вологи під люцерною у шарі грунту 0-100 см:**
а **– у період середньодобової температури повітря від 5^0 до 15^0С навесні;** ***б*** **–за 1, 2 та 3 декади після переходу температури повітря через 15^0С навесні;** ***в*** **– за 4, 5 та 6 декади після переходу температури повітря через 15^0С навесні;** ***г*** **– до кінця вегетації.**



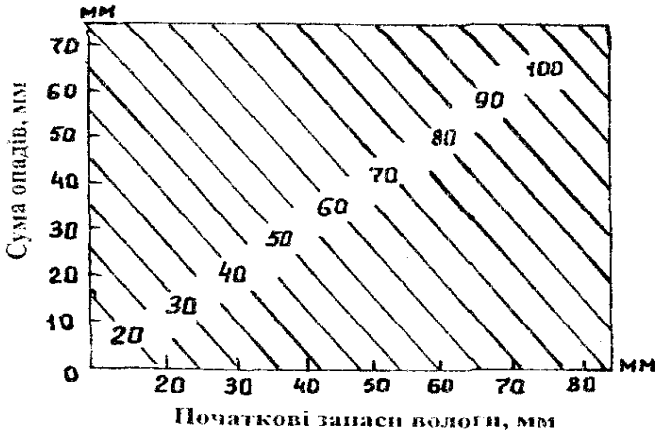
Поправка на температуру (*а*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Поправка (мм)	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0	–0,2	–0,4	–0,6	–0,8

Поправка на температуру (*б*)

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Поправка (мм)	4,0	3,2	2,4	1,6	0,8	0	–0,8	–1,6	–2,4

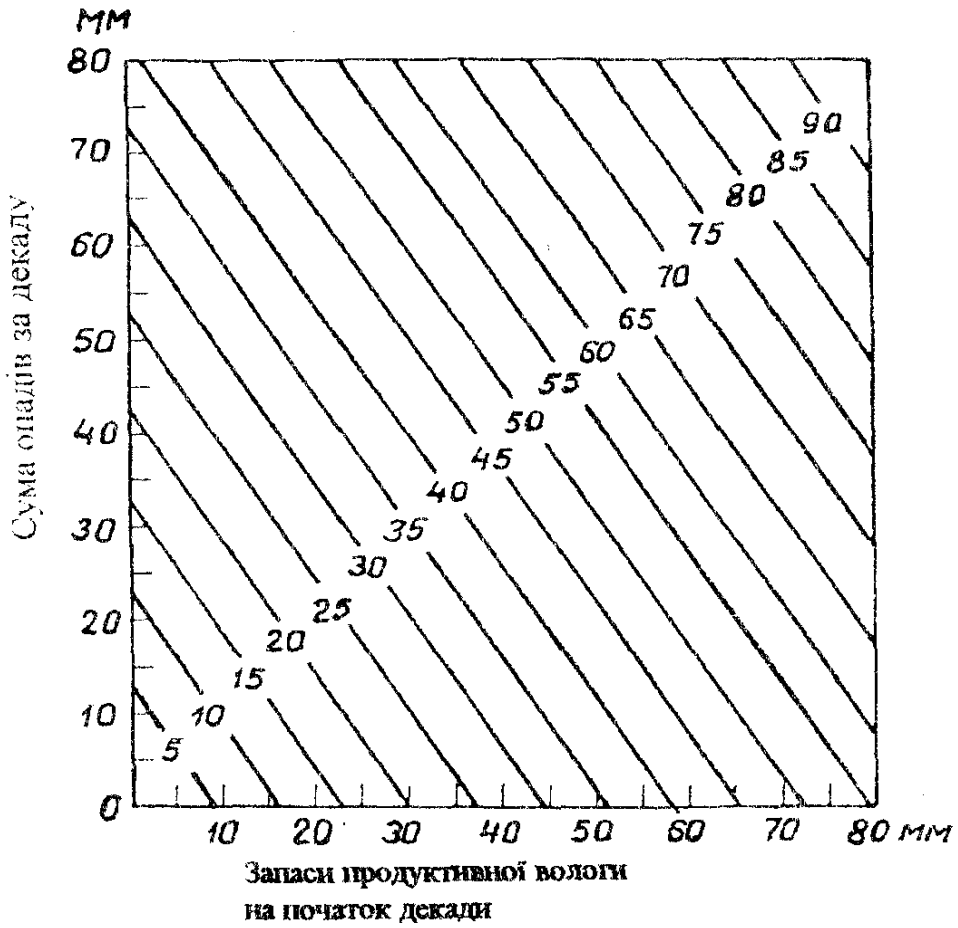
Рис.3.9 – **Розрахунки запасів продуктивної вологи під кукурудзою у період від сходів до 10-го листка:**
а **– у шарі грунту 0-20 см;** ***б*** **–у шарі грунту 0-50 см.**



Поправка на температуру

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Поправка (мм)	10,4	7,8	5,2	2,6	0	–2,6	–5,2	–7,8	-10,4	-13,0

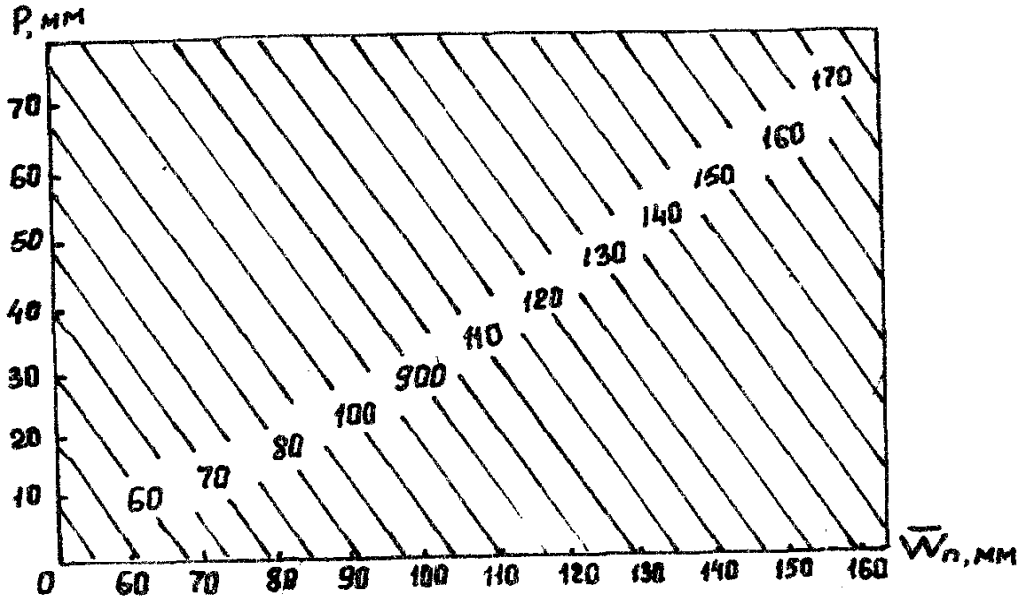
Рис.3.10 – **Розрахунок запасів продуктивної вологи у шарі грунту 0-50 см під кукурудзою за період 10-й лист – викидання волоті (для України).**



Поправка на температуру

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Поправка (мм)	6,0	4,8	3,6	2,4	1,2	0	–1,2	–2,4	–3,6	–4,8	–6,0

Рис.3.11 – **Розрахунок запасів продуктивної вологи у шарі грунту 0-50 см під кукурудзою за період 10-й лист – викидання волоті для центральних чорноземних областей ЄЧ СНД та Поволжя.**



Поправка на температуру

Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Поправка (мм)	10,4	7,8	5,2	2,6	0	–2,6	–5,2	–7,8	–10,4	–13,0	–15,6

Рис.3.12 – **Розрахунок запасів продуктивної вологи у шарі грунту 0-50 см під кукурудзою за період від викидання волоті до воскової стиглості.**

На *рис.3.9-3.12* на осі *x* – значення запасів вологи на початок розрахунку; *y* – сума опадів за декаду. У полі графіка очікувані зміни запасів вологи. На визначену величину зміни запасів вводиться поправка на температуру повітря відповідно до періоду розвитку кукурудзи.

Подібні залежності отримані для овочевих культур (баклажанів, солодкого перцю, томатів і круп′яних (гречка), *табл.3.7*).

Таблиця 3.7 – **Коефіцієнти *a, b, c, d* для розрахунку запасів вологи під кукурудзою**

		Кукурудза			
Сходи – 10-й лист	0-50	-0,83	+0,34	-0,15	+6,0
10-й лист – викидання волоті	0-50	+0,73	+0,56	-2,55	+55,84
Викидання волоті – молочна стиглість	0-50	+0,72	+0,65	-1,65	+29,88
		Баклажани, томати, солодкий перець			
Висадка розсади у грунт – цвітіння	0-20	+0,76	+0,16	-1,1	+18,4
	0-50	+0,76	+0,42	-2,94	+52,8
		Гречка			
Сходи – цвітіння	0-20	0,62	0,45	-0,99	+13,5

3.3 Розрахунок найменшої вологоємномті грунту

Найменша вологоємність (НВ) – це найбільша кількість капілярно підвішеної вологи або найбільша кількість води, яка фактично утримується грунтом у природних умовах в стані рівноваги, коли немає випарування та додаткового припливу води.

Визначається НВ методом заливу ділянок. Для заливки водою вибираються 2 ділянки. Вони повинні бути розташовані біля місця визначення об′ємної маси грунту (у 2-3 м від нього) та мати рівну поверхню. Розмір ділянки 1,5х1,5 м. Для огорожі використовується розбірна рамка, виготовлена з фанери товщиною від 10 до 15 мм.

Якщо на поверхні грунту є рослини, їх знищують. Щоб вода вільно проникала в грунт, кірку на поверхні зруйновують. Із зовнішньої сторони рамка огороджується ущільненим земляним валом висотою 30см та шириною 50см.

Шар грунту, що промокає, повинен бути на 0,5 м більше, ніж той, для якого визначається НВ. Кількість води (V), яка необхідна для заливання ділянок, розраховується за формулою:

$$V = 2\frac{(W_{HB} - W)P \cdot S \cdot H}{100}, \qquad (3.12)$$

де W_{HB} – осереднена припустима НВ для шару грунту 150 см, %;

W – фактична вологість для того ж шару грунту, %;

P – об′ємна маса грунту, г/см^3;

S – розмір залитої ділянки, м^2;

H – товщина промоклого шару грунту, м.

Виконуючи підрахунки за формулою (*3.12*), найчастіше використовують такі значення НВ для різних грунтів: 18% – для супіщаних та піщаних; 22% – для легких та середніх суглинків; 28% – для важких суглинків; 32% – для глинистих структурних грунтів та важкосуглинкових і глинистих чорноземів. Якщо не визначені значення об′ємної маси, то використовуються середні: для супіщаних і піщаних грунтів – 1,70, для суглинків – 1,50; для структурних глинистих та чорноземів – 1,30 см/г^3. Розмір залитої ділянки – 2,25 м^2.

Приклад. Для заливання ділянки на важкосуглинковому чорноземі при середній вологості 18% для визначення НВ метрового шару необхідна кількість води:

$$V = 2\frac{(32-18)1{,}30 \times 2{,}25 \times 1{,}5}{100} = 1{,}23\text{м}^3$$

Під час заливання ділянок під струмінь води підкладають дошки, фанеру або солому для захисту від розмивання поверхні грунту.

Після повного проникнення води у грунт, ділянку закривають соломою або торфом для захисту від прогрівання і випарування. Зверху все закривають поліетиленовою плівкою, щоб захистити ділянку від опадів.

Через 3-5 діб на супіщаних та піщаних грунтах та 6-8 діб на суглинкових та глинистих відбираються зразки для визначення вологості грунту. Зразки відбираються з трьох свердловин по 10-см шарах, а у верхньому – у шарі 0-5 та 5-10 см. Після відбору зразків ділянку знову закривають і повторно відбирають зразки через 1 добу із свердловин, які розташовують на відстані 20 см від перших. Якщо вологість у другому зразку відрізняється від першого не більше ніж на 2%, то її значення приймається за НВ. Якщо ж більше – то вологість визначають втретє через 2 доби. Розрахунок вологи виконується як у розділі *3.2*. У лісовій та на півночі лісостепової зони визначення НВ пов′язано з великими труднощами. Тому за НВ у першому наближенні приймають значення вологості грунту навесні після повного його відтанення. Для цього за кожний рік вибираються окремо найбільші, але часто повторювані результати вологості грунту у суміжні строки. Якщо такі значення повторюються за декілька років, то середнє з них приймається за НВ.

3.4 Розрахунок зрошувальних та поливних норм

Рослини протягом свого життя споживають велику кількість води. Майже вся вода використовується ними у процесі транспірації і тільки незначна частка – 0,15 - 0,20 % споживається та входить до складу органічної речовини.

Загальну кількість води, яка витрачається протягом вегетації будь-якої сільськогосподарської культури на випарування рослинами та з поверхні грунту, називають сумарним водоспоживанням води цією культурою або сумарним випаруванням.

При організації зрошення дуже важливо знати величину водоспоживання в конкретних природних умовах кожної сільськогосподарської культури в окремі періоди її розвитку та в цілому за вегетацію. Це дозволить розробляти найефективніші засоби зрошення. Слід відзначити, що в умовах зрошення водоспоживання сільськогосподарських культур збільшується. Запропоновано багато різних методів визначення вологопотреб та вологозабезпеченості сільськогосподарських культур [13, 15, 16, 18, 33]. Найважливішими показниками, що характеризують режим

зрошення будь-якої сільськогосподарської культури, є норми зрошення та норми поливу і способи поливів.

Зрошувальна норма – це кількість води, яка необхідна додатково рослинам за весь вегетаційний період. Зрошувальна норма поповнює дефіцит водного балансу, тобто різницю між сумарним випаруванням та природними запасами вологи в грунті. Норма зрошення залежить від правильного визначення водоспоживання. Зрошувальні норми визначаються або дослідним шляхом, або розраховуються за допомогою різних формул. Норми зрошення (M) розраховуються за формулою:

$$M = Q - Q_1, \qquad (3.13)$$

де Q – сумарні витрати води, що забезпечують отримання запланованого врожаю;

Q_1 – сумарні витрати води в природних умовах зволоження.

Сумарні витрати води в природних умовах (Q_1) визначаються як кількість води, яка використовується посівами з метрового шару грунту за період сівба - воскова стиглість зернових або сівба – технічна стиглість для технічних культур, плюс опади за ці ж періоди:

$$Q_1 = (W_1 - W_2) + R \qquad (3.14)$$

Для розрахунку зрошувальних норм (M) використовується також формула:

$$M = E - R - A - C, \qquad (3.15)$$

де E – величина водоспоживання;

R – кількість опадів за вегетаційний період (м^3);

A – кількість води, що використовується культурою із запасів, які утримуються в кореневому шарі до початку вегетаційного періоду;

C – кількість грунтової вологи, яка може бути використана рослинами при підживленні активного шару грунту грунтовими водами.

Навесні прогноз очікуваних зрошувальних норм (M) розраховується за формулою:

$$M = N_o - (W_1 - W_o) - (P_1 - P_o), \qquad (3.16)$$

де N_o – середня багаторічна зрошувальна норма, яка необхідна для отримання середнього багаторічного врожаю;

W_1 – запаси продуктивної вологи в метровому шарі грунту на початку весни;

W_o – середні багаторічні запаси продуктивної вологи на ту ж дату;

P_1 – сума опадів, що очікуються за період від сівби до настання воскової стиглості у зернових або технічної – у технічних культур;

P_o – сума опадів за той же період за середніми багаторічними даними.

Зрошувальна норма розподіляється протягом вегетаційного періоду на декілька поливів з врахуванням потреб рослин у воді в різні фази їх росту та розвитку і кількості опадів, які випали.

Кількість води, що надходить в грунт з черговим поливом, називається *поливною нормою*. Для визначення поливної норми та встановлення термінів зрошення необхідне постійне врахування запасів продуктивної вологи у грунті та найменшої вологоємності. Поливну норму (N) визначають з формули:

$$N = 100\, h \cdot d\, (ППВ - W_o), \qquad (3.17)$$

де h – глибина зволожуваного шару грунту, м;

d – об'ємна маса грунту, т / м^3 ;

ППВ – повна польова вологоємність у відсотках від маси сухого грунту;

W_o – вологість грунту перед поливом у відсотках від маси сухого грунту.

Величина поливної норми залежить від механічного складу та водно-фізичних властивостей грунту. Так для важких суглинків для промочування шару грунту 0-50 см з вологістю 70% ПВ необхідно 460 м^3/га води (якщо ПВ становить 26,7%, об'ємна маса 1,15 т/м^3) , а для чорноземів на пісках (якщо ПВ становить 11%, об'ємна маса 1,6 т/м^3) за такої ж вологості достатньо 264 м^3/га.

Величина поливної норми залежить також від передполивної вологості грунту. Чим вище вологість грунту перед поливом, тим менше поливна норма і навпаки. Товщина промочуваного шару грунту визначається характером розповсюдження основної маси коріння. На початку вегетації культур досить зволожувати шар товщиною 0-20 см. Протягом вегетаційного періоду поливні норми зростають. Встановлено

[8,15,18], що для більшості овочевих культур зрошуваний шар грунту становить від 30 до 60 см, для зернових – на початку вегетації 50 см; у другу половину вегетації – 100 см, кукурудзи – 80-100 см.

Поливну норму також визначають як залишок між запасами продуктивної вологи, що відповідають верхній ($W_{НВ}$) та нижній межі ($W_{мін}$) зволоження кореневого шару грунту :

$$N = W_{НВ} - W_{мін} = h\,P_{ПП}\,(W'_{НВ} - W'_{мін}), \qquad (3.18)$$

де $W_{НВ}$ – найменша вологоємність грунту;

$W_{мін}$ – нижня межа зволоження;

h – глибина шару мешкання коріння, м;

$P_{ПП}$ – пористість грунту у відсотках від об'єму;

$W'_{НВ}$ – вологість грунту у відсотках від $W_{НВ}$;

$W'_{мін}$ – вологість грунту у відсотках, що відповідає нижній межі зволоження.

Поливні норми також залежать від способів зрошення. Найчастіше застосовуються три головні види зрошення:

1) поверхневе зрошення – розподіл води по поверхні грунту;
2) дощування – розподіл води у вигляді дощу над зрошуваним полем;
3) підгрунтове зрошення – подача води по трубах у землі.

В практиці зрошуваного землеробства у поверхневому зрошенні застосовуються: полив по борознах, полив напуском смугами та полив затопленням. В порівнянні з самопливними способами поливу дощування має перевагу в тому, що воно дає можливість більш чітко регулювати водний режим грунту, зберігати структуру грунту. Крім того, зрошення дощуванням застосовується при складному мікрорельєфі, високому стоянні грунтових вод, високій мірі засолення грунтів. Ефективність дощування залежить від його інтенсивності, тобто кількості води, яка подається дощовою установкою за одиницю часу, вона вимірюється в мм / хв.

У відповідності з агротехнічними вимогами середній діаметр крапель дощу не повинен перевищувати 1,5 мм (*табл.3.8*).

Рівномірність дощування характеризується коефіцієнтом рівномірності, який представляє собою відношення середнього шару водоподачі на даній площі до максимального шару на будь-якій її частині

Рівномірність дощування характеризується коефіцієнтом рівномірності ($K_{рв}$), який представляє собою відношення середнього шару водоподачі на даній площі до максимального шару на будь-якій її частині

$$K_{рв} = h_{ср} / h_{макс} \quad (3.19)$$

Припустимим може бути значення $K_{рв}$ = 0,7 - 0,8.

Підгрунтове зрошення застосовується на осушувально-зрошувальних системах для двопотокового регулювання водного режиму.

Таблиця 3.8 – **Допустима інтенсивність дощу (мм /хв) при поливних нормах 300 - 500 м^3 / га**

Грунти	Дощування	
	коротко-струминне позиційне	машинами з поворотними апаратами
Чорноземи легкосуглинкові	0,8 - 1,0	0,30 - 0,35
Чорноземи середньо- та важкосуглинкові	0,5 - 0.8	0,22 - 0,27
Каштанові та дерново-опідзолені грунти	0,4 - 0,6	0,12 - 0,20
Сіроземи світлі середньо-суглинкові	0,3 - 0,5	0,07 - 0,15

3.4.1 Розрахунок зрошувальних норм та поливного режиму

Графічний метод. Розрахований режим зрошення встановлюють за допустимим вміщенням вологи у грунті. З цією метою будуються три криві допустимих запасів води: максимальна, що відповідає найменшій вологоємності грунту – $W_{НВ}$; середня – вологості розриву капілярів – $W_{РК}$ (тобто нижньої межі оптимальних вологозапасів); мінімальна – вологості в'янення – $W_{ВВ}$. Кожна з цих кривих залежить від потужності розрахункового шару грунту (*рис.3.13*). Різниця між цими запасами визначає найбільшу поливну норму у будь-який час вегетаційного періоду в залежності від водоутримувальних властивостей шару грунту. При цьому інтервал вологозапасів грунту між $W_{НВ}$ та $W_{РК}$ відповідає оптимальному зволоженню грунту, яке забезпечує максимальний врожай. Розрахований інтервал, що дозволяє зменшення вологозапасів від $W_{НВ}$ до $W_{ВВ}$, використовують при визначенні режиму зрошення в умовах недостатніх водних ресурсів, коли застосовуються «скорочені» поливи.

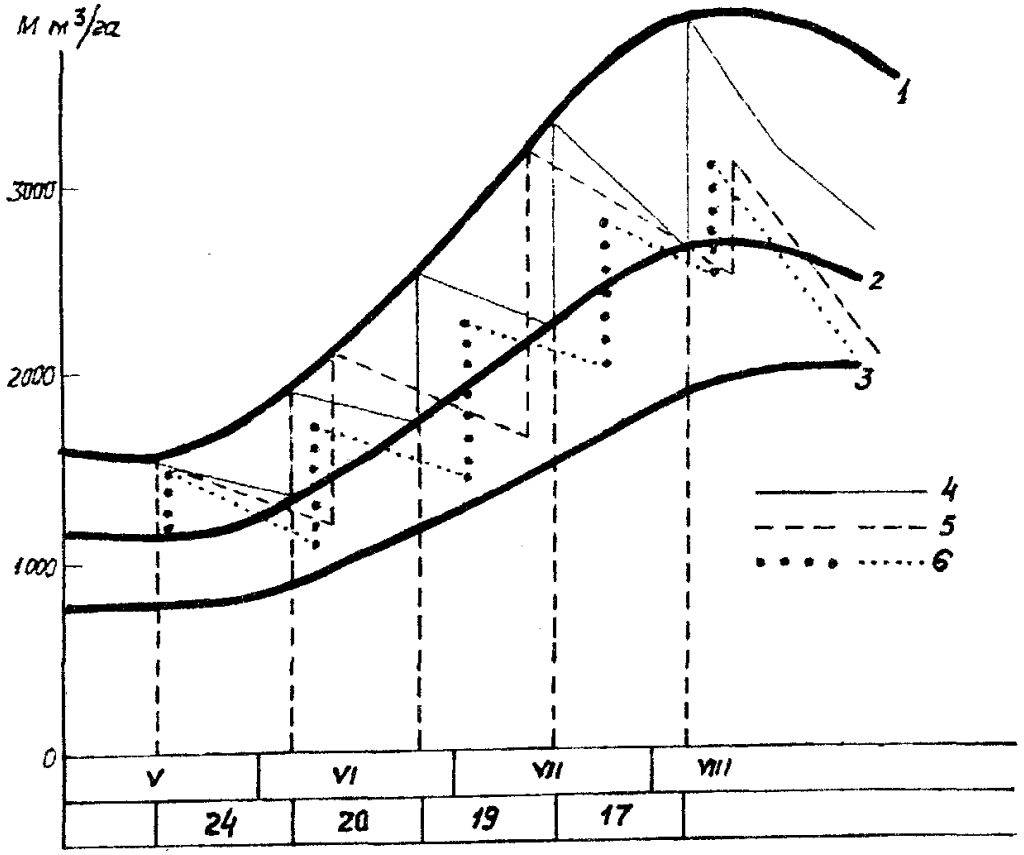


Рис.3.13 – **Графічний метод визначення норм та стоків поливів (1, 2, 3 – криві W_{HB}; W_{PK}–крива зміни W при оптимальному поливному режимі; 4, 5, 6, те ж саме).**

Поливні норми і строки зрошення визначаються графічною побудовою на тому ж графіку кривих зміни вологості у розрахунковому шарі грунту під сільськогосподарською культурою.

Такі графіки будуються за результатами водно-балансових спостережень.

У практиці зрошуваного землеробства розробляються графіки поливів усіх культур, які входять до сівообороту. Графік поливів, побудований для площі 1 га, називають *питомим графіком поливів* або *графіком гідромодуля*. Чисельні значення ординат гідромодуля q визначаються з формули:

$$q = a_k N / 86{,}4\, t \qquad (3.20)$$

де $a_к$ – доля площі, що зайнята культурою у сівообороті;
N – поливна норма, м^3/га;
t – період, впродовж якого проводять полив культури (від 3 до 15 діб).

Агрогідрологічний метод. В основу агрогідрологічного методу розрахунку оптимальних строків та норм поливів, розробленого Л.О.Разумовою та Н.Б.Мещаніновою, покладено сучасну теорію пересування вологи у грунті та її доступності для рослин, а також закономірності витрат води понад вологість в'янення і розриву капілярів.

Встановлено [15,18], що найбільш рухлива, а тому й найбільш споживана рослинами, волога, яка утримується в грунті понад вологістю розриву капілярів. Якщо зволоження грунту сягає цієї межі, то рух вологи під впливом капілярних сил закінчується і рослини відчувають спочатку незначну, а далі все більшу нестачу вологи. Тому при організації зрошення слід не доводити вміст вологи у грунті до межі менше вологості розриву капілярів. Ця межа відповідає 70% найменшої вологоємності. Тільки у період дозрівання зерна це значення межі зволоження не повинно бути вище 40 мм.

Зміна запасів продуктивної вологи на зрошуваних полях, а отже, і настання дат чергового поливу, розраховуються за рівняннями виду:

$$\Delta y = a\, w_1 + b\, t + cr + l\,, \qquad (3.21)$$

де Δy – зміна запасів продуктивної вологи у зрошуваному шарі (мм/доба);
w_1 – запаси продуктивної вологи у цьому ж шарі на початок розрахункового періоду, мм;

t – середня температура повітря, ^{0}C;

r – сума опадів, мм;

a,b,c,l – числові коефіцієнти, що залежать від типу рослин, стану їх розвитку і ін.

Це загальний вигляд рівняння. На підставі багаторічних досліджень рівняння розраховуються для кожної культури і типу грунтів та кожного межфазного періоду.

Слід зазначити, що при визначенні норм чергових поливів для культур, які вирощуються на легких грунтах, за верхню межу зволоження приймають значення запасів вологи в грунті, які на 30-40 мм перевищують значення найменшої вологоємності. Норми поливів розраховуються окремо для різних видів поливів. Приклад розрахунку наводиться у *табл.3.9*.

Таблиця 3.9 – **Приклад розрахунку норм та строків поливу кукурудзи**

Показники	6-10.IV	11-5.IV	16-20.IV	21-25.IV	26-30.IV	1-5.V	6-10.V	11-15.V	16 -20.V	21-25.V	26-31.V	1-5.VI	6-11.VI
Температура повітря (середня за п′ятиденку, ^{0}C)	13,2	17,5	15,5	15,0	11,1	10,9	15,1	15,6	21,5	20,3	21,0	21,0	
Опади (сума за п′ятиденку, мм)	0,6	0,1	1,8	2,3	7,2	17,2	10,3	10,5	0,0	0,3	0,0	4,2	
Опади (середні за добу, мм)	0,1	0,0	0,4	0,5	1,4	3,4	2,1	2,1	0,0	0,1	0,0	0,8	
Фаза розвитку	Посів 9.IV				Сходи 28.IV					Ріст стебла 22.V			
Кількість днів від дати початку росту стебла до кінця п′ятиденки										3	9	14	

Продовження таблиці 3.9

Показники	6-10.IV	11-15.IV	16-20.IV	21-25.IV	26-30.IV	1-5.V	6-10.V	11-15.V	16 -20.V	21-25.V	26-31.V	1-5.VI	6-11.VI		
	Полив дощуванням (шар грунту 0 - 50 см)														
			до поливу	після поливу										до поливу	після поливу
Зміна запасів за дату, знято з графіка	-2,4	-2,3	-2,0	-2,2	-2,2	-1,2	0,7	-0,7	-0,7	-2,4	-2,3	-2,8	-2,5	-1,7	-3,6
Поправка на температуру	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4	0,7	0,7	0,4	0,4	-0,2	0,0	0,0	0,2	-0,2	-0,2
Поправка на кількість днів від фази "початок росту стебла"												1,3	0,9	0,7	0,7
Сума поправок	-1,8	-2,1	-1,6	-1,8	-1,8	-0,5	1,4	-0,3	-0,3	-2,6	-2,3	-1,5	-1,8	-1,2	-3,1
Зміна запасів за п′ятиденку	-2	-10	-6	-2	-9	-2	7	-2	-2	-13	-5	-5	-9	-2	-9
Запаси вологи: на кінець п′ятиденки або на початок фази* 83	81	71	65	96	87	85	92	90	88	75	70	65	56	54	89
перед поливом			65											54	
після поливу				98											98

* – запаси вологи на дату сівби

3.5 Методи розрахунку сумарного випарування

Випарування у природі спостерігається всюди, де є вода та тепло. Багатозначність природних умов, в яких спостерігається процес випарування, обумовила велику кількість методів розрахунку сумарного випарування. У природі найчастіше спостерігаються 3 види випарування – з поверхні грунту; транспірація рослин; з поверхні води, льоду, снігу.

Сумарним випаруванням називається природне випарування усіх видів, віднесене до одного відрізку часу.

Існуючі методи розрахунку сумарного випарування дозволяють виконувати розрахунки середніх значень його з природно зволожених територій в цілому та з окремих видів поверхонь.

Вибір методу розрахунку залежить від поставленої задачі, наявності початкової інформації та необхідної точності розрахунків.

Результати розрахунку випарування залежать не тільки від вибраного методу та точності розрахунку, але і від коректності його застосування і правильності визначення початкових даних.

Розміри площі, на яку поширюються результати розрахунків випарування за даними в одному пункті, залежать від характеру розрахованих величин, тривалості розрахункового періоду та репрезентативності початкових даних.

Розраховане середнє за рік випарування поширюється на площу 1000-3000км^2. На цю ж площу може поширюватись значення розрахованої середньої багаторічної місячної суми випарування. Дані розрахунків фонових значень випарування за окремі роки і місяці в районах з досить густою мережею гідрометеорологічних станцій розповсюджуються на половину відстані між сусідніми станціями. Чим менше тривалість розрахункового інтервалу часу, для якого проводяться розрахунки випарування, тим менша площа, на яку розповсюджуються результати обчислень.

Основними способами оцінки випарування з конкретної поверхні за короткі відрізки часу (декада) є методи випарників.

3.5.1 Визначення випарування з незрошуваних сільськогосподарських полів

З метою оцінки випарування з незрошуваних полів згідно з [16,17,70] використовуються методи теплового балансу, водного балансу, випарників, дифузії, комплексний та ін.

Метод теплового балансу дозволяє дати оцінку випаруванню за короткі відрізки часу (місяці, декади) з будь-якої відкритої рівної поверхні і використовується для визначення випарування з полів, зайнятих

низькорослими рослинами висотою до 20 см, та полів з висотою рослин більше 20 см. Середньоквадратична похибка методу складає біля 15%. Метод не варто застосовувати для дуже посушливих районів (пустелі, напівпустелі), а також для крутих схилів.

Випарування (E) з полів, що зайняті рослинами менше 20 см висотою, визначається за спрощеною формулою теплового балансу

$$E = 1/60\ (R - P - B), \tag{3.22}$$

де R – значення радіаційного балансу, який безпосередньо вимірюється;

B – теплообмін у грунті;

P – турбулентний теплообмін.

Останні дві величини розраховуються у кал/см^2. Число 60 у знаменнику означає питому теплоту пароутворення 0,1 г води. Для розрахунків випарування з використанням методу теплового балансу використовуються матеріали спостережень [17,18] теплобалансових станцій, які зберігаються у вигляді таблиць ТМ-16 у гідрометеорологічних фондах управлінь гідрометеорологічної служби.

Потік тепла у грунті B визначається з формули :

$$B = \frac{c}{\tau} \cdot S\ , \tag{3.23}$$

де c – об ′ємна теплоємність грунту;

S – величина, що характеризує зміну температури у верхньому шарі грунту за інтервал часу τ.

Об′ємна теплоємність грунту, тобто кількість тепла, яке необхідне для нагріву 1 см^3 грунту на 1^0 С , розраховується з формули:

$$c = c_n q\ + c_в qW, \tag{3.24}$$

де c – об′ємна теплоємність в кал/(см^3·град);

c_n – питома теплоємність частин сухого грунту в кал/(г·град), визначається з *табл. 3.10*.

q – об′ємна маса сухого грунту при незруйнованій структурі г/см^3;

$c_в$ – питома теплоємність води, що приймається рівною одиниці;

W – середня вологість грунту в шарі 0-20 см в частках одиниці, вимірюється 3 рази на місяць (8,18,28 числа кожного місяця вегетаційного періоду).

Таблиця 3.10 – **Питома теплоємність різних видів сухого грунту в кал/(г · град)**

Вид грунту	c_n	Вид грунту	c_n
Пісок	0,19	Суглинистий чорнозем	0,30
Буро-піщаний, слабко-солонцюватий	0,14	Супіщаний чорнозем	0,26
Валунний супіщаний	0,18	Вилужений чорнозем	0,20
Супіщаний підзолистий	0,17	Дуже опідзолений чорнозем	0,21
Гумус	0,44	Слабко опідзолений чорнозем	0,18
Глина	0,22	Торф	0,42
Суглинок важкий	0,21	Корковий солонець	0,18
Суглинок легкий	0,20	Глибкостовбчатий солонець	0,13
Темно-сірий лісний суглинок	0,19		

Величина S підраховується за даними вимірювання температури грунту на її поверхні і глибинах 5, 10,15, 20 см з формули:

$$S = S_0 + S_5 + S_{10} + S_{15} + S_{20} \qquad (3.25)$$

$$S_0 = 20 \cdot 0{,}82\ \Delta t_0;$$

$$S_5 = 20 \cdot 0{,}333\ \Delta t_5;$$

$$S_{10} = 20 \cdot 0{,}175\ \Delta t_{10};$$

$$S_{15} = 20 \cdot 0{,}156\ \Delta t_{15};$$

$$S_{20} = 20 \cdot 0{,}004\ \Delta t_{20}$$

Величини Δt_0, Δt_5, Δt_{10}, Δt_{15} , Δt_{20} представляють залишок між значеннями температури грунту, виміряними на відповідних глибинах у теперішній та попередній термін вимірювання.

Значення S_z для заданих глибин (S_0, S_5, S_{10}, S_{15}, S_{20}) визначаються по Z і відповідному залишку Δt_z за допомогою *табл.3.11*. Далі відповідно до формули (*3.25*) шляхом підсумування S_z для п′яти різних глибин отримують значення S. Відношення c/τ визначається з *табл. 3.12*.

Таблиця 3.11 – **Значення параметра S_z для різних глибин в залежності від глибини виміру температури грунту та залишку між температурою грунту в попередній та наступний строки спостережень**

Δt_z ^{0}C	z, см				
	0	5	10	15	20
0,1	0,2	0,7	0,4	0,3	0,0
0,2	0,3	1,3	0,7	0,6	0,0
0,3	0,5	2,0	1,0	0,9	0,0
0,4	0,7	2,7	1,4	1,2	0,0
0,5	0,8	3,3	1,8	1,6	0,0
0,6	1,0	4,0	2,1	1,9	0,0
0,7	1,2	4,7	2,4	2,2	0,1
0,8	1,3	5,3	2,8	2,5	0,1
0,9	1,5	6,0	3,2	2,8	0,1
1,0	1,6	6,7	3,5	3,1	0,1
1,1	1,8	7,3	3,8	3,4	0,1
1,2	2,0	8,0	4,2	3,7	0,1
1,3	2,1	8,7	4,6	4,1	0,1
1,4	2,3	9,3	4,9	4,4	0,1
1,5	2,5	10,0	5,2	4,7	0,1
1,6	2,6	10,7	5,6	5,0	0,1
1,7	2,8	11,3	6,0	5,3	0,1
1,8	3,0	12,0	6,3	5,6	0,1
1,9	3,1	12,6	6,6	5,9	0,2
2,0	3,3	13,3	7,0	6,2	0,2
2,1	3,4	14,0	7,4	6,6	0,2
2,2	3,6	14,6	7,7	6,9	0,2
2,3	3,8	15,3	8,0	7,2	0,2
2,4	3,9	16,0	8,4	7,5	0,2
2,5	4,1	16,6	8,8	7,8	0,2
2,6	4,3	17,3	9,1	8,1	0,2
2,7	4,4	18,0	9,4	8,4	0,2
2,8	4,6	18,6	9,8	8,7	0,2
2,9	4,8	19,3	10,2	9,0	0,2
3,0	4,9	20,0	10,5	9,4	0,2
3,1	5,1	20,6	10,8	9,7	0,2
3,2	5,2	21,3	11,2	10,0	0,3
3,3	5,4	22,0	11,6	10,3	0,3
3,4	5,6	22,6	11,9	10,6	0,3
3,5	5,7	23,3	12,2	10,9	0,3
3,6	5,9	24,0	12,6	11,2	0,3
3,7	6,1	24,6	13,1	11,5	0,3

Продовження таблиці 3.11

Δt_z ^{0}C	z, см				
	0	5	10	15	20
3,8	6,2	25,3	13,3	11,9	0,3
3,9	6,4	26,0	13,6	12,2	0,3
4,0	6,6	26,6	14,0	12,5	0,3
4,1	6,7	27,3	14,4	12,8	0,3
4,2	6,9	28,0	14,7	13,1	0,3
4,3	7,0	28,6	15,0	13,4	0,3
4,4	7,2	29,3	15,4	13,7	0,4
4,5	7,4	30,0	15,8	14,0	0,4
4,6	7,5	30,6	16,1	14,4	0,4
4,7	7,7	31,3	16,4	14,7	0,4
4,8	7,9	32,0	16,8	15,0	0,4
4,9	8,0	32,6	17,2	15,3	0,4
5,0	8,2	33,3	17,5	15,6	0,4
5,1	8,4	34,0	17,8	15,9	
5,2	8,5	34,6	18,2	16,2	
5,3	8,7	35,3	18,6	16,5	
5,4	8,9	36,0	18,9	16,8	
5,5	9,0	36,7	19,2	17,2	
5,6	9,2	37,3	19,6	17,5	
5,7	9,4	38,0	20,0	17,8	
5,8	9,5	38,6	20,3	18,1	
5,9	9,7	39,3	20,6	18,4	
6,0	9,8	40,0	21,0	18,7	
6,1	10,0	40,6	21,4	19,0	
6,2	10,2	41,3	21,7	19,3	
6,3	10,3	42,0	22,0	19,7	
6,4	10,5	42,6	22,4	20,0	
6,5	10,7	43,3	22,8	20,3	
6,6	10,8	44,0	23,1	20,6	
6,7	11,00	44,6	23,4	20,9	
6,8	11,2	45,3	23,8	21,2	
6,9	11,3	46,0	24,2	21,5	
7,0	11,5	46,6	24,5	21,8	
7,1	11,6	47,3	24,8	22,2	
7,2	11,8	48,0	25,2	22,5	
7,3	12,0	48,6	25,6	22,8	
7,4	12,1	49,3	25,9	23,1	
7,5	12,3	50,0	26,2	23,4	
7,6	12,5	50,6	26,6	23,7	
7,7	12,6	51,3	27,0	24,0	

Продовження таблиці 3.11

Δt_z ^{0}C	z, см				
	0	5	10	15	20
7,8	12,8	52,0	27,3	24,3	
7,9	13,0	52,6	27,7	24,6	
8,0	13,1	53,3	28,0	25,0	
8,1	13,3	54,0	28,4	25,3	
8,2	13,4	54,6	28,7	25,6	
8,3	13,6	55,3	29,0	25,9	
8,4	13,8	55,9	29,4	26,2	
8,5	13,9	56,6	29,8	26,5	
8,6	14,1	57,3	30,1	26,8	
8,7	14,3	57,9	30,4	27,1	
8,8	14,4	58,6	30,8	27,5	
8,9	14,6	59,3	31,2	27,8	
9,0	14,8	59,9	31,5	28,1	
9,1	14,9	60,6	31,8	28,4	
9,2	15,1	61,3	32,2	28,7	
9,3	15,2	61,9	32,6	29,0	
9,4	15,4	62,6	32,9	29,3	
9,5	15,6	63,3	33,2	29,6	
9,6	15,7	63,9	33,6	30,0	
9,7	15,9	64,6	34,0	30,3	
9,8	16,1	65,3	34,3	30,6	
9,9	16,2	65,9	34,6	30,9	
10,0	16,4	66,6	35,0	31,2	

Δt_z ^{0}C	z = 0	Δt_z ^{0}C	z = 0
10,1	16,6	12,6	20,7
10,2	16,7	12,7	20,8
10,3	16,9	12,8	21,0
10,4	17,1	12,9	21,2
10,5	17,2	13,0	21,3
10,6	17,4	13,1	21,5
10,7	17,6	13,2	21,6
10,8	17,7	13,3	21,8
10,9	17,9	13,4	22,0
11,0	18,0	13,5	22,1
11,1	18,2	13,6	22,3
11,2	18,4	13,7	22,5
11,3	18,5	13,8	22,6
11,4	18,7	13,9	22,8
11,6	19,0	14,1	23,1
11,7	19,2	14,2	23,3

Продовження таблиці 3.11

Δt_z ^{0}C	z = 0	Δt_z ^{0}C	z = 0
11,8	19,4	14,3	23,4
11,9	19,5	14,4	23,6
12,0	19,7	14,5	23,8
12,1	19,8	14,6	23,9
12,2	20,0	14,7	24,1
12,3	20,2	14,8	24,3
12,4	20,3	14,9	24,4
12,5	20,5	15,0	24,6

Таблиця 3.12 – **Значення $c/\tau \cdot 10^3$ для відрізку τ = 180 хв**

c	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,10	0,50	0,61	0,67	0,72	0,78	0,83	0,89	0,94	1,00	1,05
0,20	1,11	1,17	1,22	1,28	1,33	1,39	1,44	1,50	1,55	1,61
0,30	1,67	1,72	1,78	1,83	1,89	1,94	2,00	2,06	2,11	2,16
0,40	2,22	2,28	2,33	2,39	2,44	2,50	2,56	2,61	2,66	2,72
0,50	2,78	2,83	2,89	2,94	3,00	3,06	3,11	3,16	3,22	3,28
0,60	3,33	3,39	3,44	3,50	3,56	3,61	3,66	3,72	3,78	3,83
0,70	3,89	3,94	4,00	4,05	4,11	4,16	4,22	4,28	4,33	4,39
0,80	4,44	4,50	4,56	4,61	4,66	4,72	4,78	4,83	4,89	4,95
0,90	5,00	5,06	5,11	5,16	5,22	5,28	5,33	5,39	5,45	5,50
1,00	5,56	5,61	5,66	5,72	5,78	5,83	5,89	5,95	6,00	6,05

Турбулентний потік тепла P вдень при значеннях залишків (R - B) = 0,10 кал/(см^2 · хв), позитивних залишках температури ($\Delta t \geq 0{,}1^0$ C) і вологості ($\Delta e \geq 0{,}1$ мб) повітря визначається з врахуванням наявності зв′язку між потоками тепла і вологи (відношення Боуена A) з формул:

$$P = (R - B) \cdot A$$

або

$$P = \frac{(R - B)\Delta t}{\Delta t + 1{,}56\Delta e} \qquad (3.26)$$

Якщо ж спостерігається хоча б одно з вищевказаних зауважень, тобто (R - B) < 0 /0,10 кал./см^2 або Δe < 0, то розрахунок P виконується згідно з формулою:

$$P = 1{,}36\, k_1\, \Delta t\,, \qquad (3.27)$$

де $\Delta t = (t_{0,5} - t_2)$; $t_{0,5}$ та t_2 – температура повітря, виміряна на висотах 0,5 та 2 м над поверхнею землі;

$\Delta e = (e_{0,5} - e_2)$, $e_{0,5}$ та e_2 – пружність водяної пари повітря в мілібарах на рівнях 0,5 та 2,0 м;

k_1 – коефіцієнт турбулентності в м^2/с, який характеризує інтенсивність вертикального переносу на висоті 1 м від поверхні.

Значення k_1 визначаються з *табл.3.13*.

Чисельні коефіцієнти 1,56 та 1,36 у формулах (*3.26*) та (*3.27*) розраховані для атмосферного тиску (1000 мб) і використовуються для рівнин і висот не більших за 800-1000 м над рівнем моря. Множник $A = \dfrac{\Delta t}{\Delta t + 1{,}56\Delta e}$ у формулі визначається з *табл.3.14* в залежності від виміряних величин залишків Δe та Δt, а значення турбулентного потоку тепла P (з *табл.3.15)*.

Випарування розраховується для кожного строку спостережень, а потім за середніми даними випарування за декаду за окремі строки визначається середня декадна добова сума випарування

$$E_{доба} = 3\,[E_1 + E_7 + E_{10} + E_{13} + E_{16} + E_{19} + E_1' + (E_7 + E_{19})/2\,] \qquad (3.28)$$

$$E_{дек} = n \cdot E_{доб}\,, \qquad (3.29)$$

де n – кількість діб у декаді;

E_1' – випарування в часовий строк теперішньої та наступної доби.

Наприклад:

а) Розрахунок середнього за декаду випарування на ст. Фастів (Київська обл.) для другої декади липня 1993р. Грунт – важкий суглинок з об’ємною масою 1,54 г/см , вологість грунту у шарі 0-20 см – W=28%. З *табл.3.10* визначається питома теплоємність важких суглинків, яка становить 0,21 кал/(г· град.). У такому випадку об’ємна теплоємність буде:

$$c = 0{,}21 \cdot 1{,}54 + 1 \cdot 1{,}54 \cdot 0{,}28 = 0{,}75 \text{ кал/(см}^2 \cdot \text{град)}$$

Таблиця 3.13 – **Значення коефіцієнта турбулентності k_1 на висоті 1м в залежності від залишку швидкості вітру Δu і температури повітря Δt на 2-х рівнях (2 і 0,5 м)**

Δu	Δt									
	-2,0	-1,9	-1,8	-1,7	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,8	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1,0	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
1,1	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
1,2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1,4	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
1,5	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
1,6	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
1,7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
1,8	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
1,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11
2,0	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
2,1	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
2,2	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
2,3	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15
2,4	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
2,5	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17
2,6	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
2,7	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
2,8	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20
2,9	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21
3,0	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22
3,1	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
3,2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24
3,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25
3,4	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26
3,5	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27
3,6	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29
3,7	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30

Продовження таблиці 3.13

Δu	Δt										
	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,00
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03
0,4	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05
0,6	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,06
0,7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,7
0,8	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07
0,9	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,09
1,0	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,10
1,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11
1,2	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12
1,3	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,14
1,4	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,15
1,5	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,16
1,6	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,17
1,7	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15	0,18
1,8	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,19
1,9	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,20
2,0	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,21
2,1	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19	0,22
2,2	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23
2,3	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,21	0,24
2,4	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,25
2,5	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23	0,26
2,6	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,27
2,7	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,26	0,28
2,8	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29
2,9	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,28	0,30
3,0	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,29	0,31
3,1	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,30	0,32
3,2	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,31	0,33
3,3	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,32	0,34
3,4	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,32	0,34	0,35
3,5	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34	0,36

Продовження таблиці 3.13

Δu	Δt										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,3	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13	0,14
0,4	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14
0,5	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14
0,6	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14
0,7	0,07	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15
0,8	0,08	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15
0,9	0,09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16
1,0	0,10	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17
1,1	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18
1,2	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19
1,3	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20
1,4	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21
1,5	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22
1,6	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23
1,7	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24
1,8	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25
1,9	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26
2,0	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27
2,1	0,21	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28
2,2	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
2,3	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30
2,4	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31
2,5	0,26	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32
2,6	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33
2,7	0,28	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34
2,8	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35
2,9	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36
3,0	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37
3,1	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38
3,2	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39
3,3	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40
3,4	0,35	0,36	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41
3,5	0,36	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42

П р и м і т к а. $\Delta t = (t_{0,5} - t_{2,0})$; $\Delta u = u_{2,0} - u_{0,5}$

Таблиця 3.14 – **Значення множника $A = \Delta t / (\Delta t + 1{,}56\Delta e)$ у формулі (*3.15*) в залежності від залишку вологості Δe та температури повітря Δt на 2-х рівнях (0,5 і 2 м)**

Δe	Δt															
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,00	0,39	0,56	0,66	0,72	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,86	0,88	0,88	0,89	0,90	0,91
0,2	0,00	0,24	0,39	0,49	0,56	0,62	0,66	0,69	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79	0,81	0,82	0,83
0,3	0,00	0,18	0,30	0,39	0,46	0,52	0,56	0,60	0,63	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,76
0,4	0,00	0,14	0,24	0,32	0,39	0,44	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71
0,5	0,00	0,12	0,20	0,28	0,34	0,39	0,44	0,47	0,51	0,54	0,56	0,58	0,61	0,62	0,64	0,66
0,6	0,00	0,10	0,18	0,24	0,30	0,35	0,39	0,43	0,46	0,49	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62
0,7	0,00	0,08	0,16	0,22	0,27	0,31	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58
0,8	0,00	0,07	0,14	0,19	0,24	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55
0,9	0,00	0,07	0,12	0,18	0,22	0,26	0,30	0,33	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52
1,0	0,00	0,06	0,11	0,16	0,20	0,24	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41	0,44	0,46	0,47	0,49
1,1	0,00	0,06	0,10	0,15	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47
1,2	0,00	0,05	0,10	0,14	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35	0,37	0,40	0,41	0,43	0,44
1,3	0,00	0,05	0,09	0,13	0,16	0,20	0,23	0,26	0,28	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,42
1,4	0,00	0,04	0,08	0,12	0,16	0,19	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,37	0,39	0,41
1,5	0,00	0,04	0,08	0,11	0,15	0,18	0,20	0,23	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,37	0,39

Примітка. $\Delta t = (t_{0,5} - t_2)$; $\Delta e = (e_{0,5} - e_2)$;

Таблиця 3.15 – **Значення турбулентного потоку тепла *P* з формули $P = 1{,}35k_1$ (Δt для k_1 від 0,01 до 0,22 та Δt від 0,1 до 1,0)**

k_1	Δt									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
0,04	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
0,05	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
0,06	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08
0,07	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09
0,08	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11
0,09	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12
0,10	0,01	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14
0,11	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,13	0,15
0,12	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16
0,13	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
0,14	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19
0,15	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
0,16	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,22
0,17	0,02	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23
0,18	0,02	0,05	0,07	0,10	0,12	0,15	0,17	0,19	0,22	0,24
0,19	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,26
0,20	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,16	0,19	0,22	0,24	0,27
0,21	0,03	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,28
0,22	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30

Далі за матеріалами спостережень за радіаційним балансом, температурою грунту та градієнтами швидкості вітру, температури і вологості повітря розраховується їх середнє значення за декаду. Всі визначені величини записуються у *табл.3.16*.

Коли будуть визначені всі величини за строками спостережень, добові і декадні значення випарування визначаються за формулами (*3.28*) та (*3.29*).

$$E_{доб} = 3[0{,}03 + 0{,}03 + 0{,}34 + 0{,}47 + 0{,}42 + 0{,}15 + 0{,}03 + (0{,}03 + 0{,}015)/2] = 4{,}68 \text{мм/доб}$$

$$E_{дек} = 10 \cdot 4{,}68 = 46{,}8 \text{ мм/дек.}$$

б) Розрахунок середнього за місяць добового випарування виконується в тому ж порядку, що й для декади. Тільки в цьому випадку за початкові дані використовуються дані спостережень, осереднені для кожного строку за весь місяць (*табл.3.17*).

Примітка: У *табл.3.17* не вказані строчки 6, 18, 20, 21 і 25, 27, розрахунок яких подібний до таких же рядків у *табл.3.16*.

Якщо виконати всі розрахунки за формулами (*3.28*) та (*3.29*), дістанемо $E_{доб}$ = 3,98 мм/доб; тоді за місяць $E_м$ = 3,98 · 31 = 123 мм

3.5.2 Метод водного балансу

Метод водного балансу застосовується для оцінки випарування з ділянок суші різних розмірів, а також з обмежених за розмірами монолітів, що знаходяться у випарниках. Цей метод ще відомий під назвою методу випарників.

Такі величини як поверхневий стік та водообмін з шарами, розташованими нижче, у повному рівнянні водного балансу застосовуються дуже рідко, лише якщо проводяться спеціальні дослідження.

У більшості випадків, коли грунтові води залягають глибоко, використовується спрощене рівняння водного балансу:

$$E = (W_n + r) - W_к , \qquad (3.30)$$

де r – опади в мм за інтервал часу;

W_n та $W_к$ – запаси продуктивної вологи на початку і наприкінці інтервалу, за який розраховується випарування, мм.

Це рівняння не дає значних помилок, якщо опади не утворюють поверхневого стоку, а глибина проникнення дощової води в грунт не перевищує глибини, до якої вимірювалась вологість грунту (100 см). Помилки визначення випарування за місяць за цією формулою становлять 15-18%.

3.5.3 Метод випарників

Грунтові випарники застосовуються для оцінки випарування з різних видів незрошуваних сільскогосподарських полів і окремих ділянок з глибиною залягання грунтових вод більше 3-5 м.

Метод дозволяє вивчати залежність випарування від стану поверхні та типу грунту, елементів рельєфу, рослинності та ін.

Таблиця 3.16 – **Приклад розрахунку випарування за даними радіаційного балансу**

№ рядка	Позначення	Розмірність	Строки спостережень (години)						
			1	7	10	13	16	19	1
1*	t_0	^{0}C	10,4	17,0	35,2	35,3	29,6	19,4	10,8
2*	t_5	"	15,5	13,7	15,7	18,9	21,4	20,1	15,9
3*	t_{10}	"	15,5	14,2	14,6	16,7	18,6	18,6	15,9
4*	t_{15}	"	15,1	14,0	14,0	15,2	16,0	16,6	15,5
5*	t_{20}	"	14,6	13,9	13,8	14,1	14,7	15,1	14,9
6	Δt_0	"	6,6	18,2	0,1	-5,7	-10,2	-8,6	
7	Δt_5	"	-1,8	2,0	3,2	2,5	-1,3	-14,2	
8	Δt_{10}	"	-1,3	0,4	2,1	1,9	0,0	-2,7	
9	Δt_{15}	"	-1,1	0,0	1,2	0,8	0,6	-1,1	
10	Δt_{20}	"	-0,7	-0,1	0,3	0,6	0,4	-0,2	
11	S_0	см·град	10,82	29,84	0,16	-9,35	-16,73	-14,10	
12	S_5	"	-11,99	13,32	21,31	16,65	-8,66	-27,97	
13	S_{10}	"	-4,55	1,40	7,35	6,65	0,0	-9,45	
14	S_{15}	"	-3,43	0,0	3,74	2,50	1,87	-3,43	
15	S_{20}	"	-0,06	-0,01	0,02	0,05	0,03	-0,02	
16	S	"	-9,21	44,55	32,58	16,50	-23,49	-54,97	
17	$10^3c/\tau$	кал/(см^3·град· хв)	2,08	4,16	4,16	4,16	4,16	2,08	
18	B	кал/(см^2·хв)	-0,019	0,185	0,136	0,069	-0,098	-0,114	
19*	R	"	-0,05	0,13	0,58	0,64	0,43	0,02	-0,05
20	B	"	-0,07	0,08	0,16	0,10	-0,01	-0,11	-0,07
21	R-B	"	0,02	0,05	0,42	0,54	0,44	0,13	0,02
22*	Δt	град	-0,5	0,2	0,5	0,3	0,1	-0,3	-0,5
23*	Δe	мб	-0,3	0,4	1,3	1,3	1,3	0,5	0,2
24*	Δu	м/с	0,5	0,6	1,1	1,1	1,2	0,9	0,5
25	k_1	м^2/с	0,01	0,09	-	-	-	0,05	0,01
26	A				0,20	0,13	0,15		
27	P	кал/(см^2·хв)	-0,01	0,02	0,08	0,07	0,02	-0,02	-0,01
28	E	мм/год	0,03	0,03	0,34	0,47	0,42	0,15	0,03

Таблиця 3.17 – **Приклад розрахунку випарування за добу впродовж місяця**

№рядка	Позначення	Розмірність	Строки спостережень (години)						
			1	7	10	13	16	19	1
1*	t_0	^{0}C	10,3	11,5	16,6	21,8	20,6	16,2	10,4
2*	t_5	"	12,0	11,0	13,5	16,9	17,6	16,2	12,2
3*	t_{10}	"	12,7	11,2	12,6	15,2	16,3	15,8	12,8
4*	t_{15}	"	12,9	11,4	11,9	13,6	14,5	14,8	13,0
5*	t_{20}	"	12,9	11,6	11,6	12,7	13,7	14,1	13,1
19*	R	кал/(см^2·хв)	-0,06	0,18	0,52	0,59	0,33	0,02	-0,06
22*	Δt	^{0}C	-0,8	0,1	0,4	0,5	0,2	-0,3	-0,8
23*	Δe	мб	0,2	0,6	1,2	1,6	1,0	0,7	0,2
24*	Δu	м/с	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,0	0,8
28	E	мм/год	0,00	0,13	0,36	0,44	0,27	0,04	0,00

Примітка: Знаком (*) відзначені строчки, в яких записані середні по строках за декаду початкові дані розрахунку.

Випарування визначається за зміною маси грунтового моноліту з рослинами, які в ньому ростуть, за періоди між окремими зважуваннями:

$$E = 10/S\ (P_1 - P_2) + r - п\ , \qquad (3.31)$$

де S - площа випарника, см^2;

P_1 та P_2 – маса моноліту випарника відповідно в поперед-ній та теперішній термін зважування, г;

r та п – опади та кількість їх що проникли в грунт за відрізок часу між зважуваннями, у міліметрах шару води.

Вимірювання випарування на мережі тепловоднобалансових станцій проводиться за допомогою грунтових випарників «ГГИ-500-100» та «ГГИ-500-50».

Похибки визначення випарування за допомогою випарників сягають 10-20%.

За допомогою грунтових випарників визначають випарування за 5 діб, декаду, місяць. Крім того, дані спостережень за випаруванням з допомогою випарників в одному пункті розповсюджуються на всі ділянки з тією ж поверхнею, розташовані на тих же елементах рельєфу (висота, експозиція) та в однакових з пунктом вимірювання грунтово-кліматичних умовах.

3.5.4 Комплексні методи визначення випарування

Комплексні методи визначення випарування і випарності грунтуються на використанні рівнянь теплового і водного балансів.

Широко відомий метод М.І.Будико, який у подальшому був уточнений Л.І.Зубенок. Випарність методом М.І.Будико розраховується з формули:

$$E_o = \sqrt{\frac{R_o x}{L}\left(1 - e^{-\frac{R_o}{xL}}\right) th \frac{xL}{R_o}} \quad , \qquad (3.32)$$

де R_o – радіаційний баланс зволоженої поверхні, кДж/(см^2 ·рік);

x – середня багаторічна сума опадів, см/рік;

L – прихована теплота випарування, кДж/см^3.

Якщо відомі опади (x), стік (y), температура (t) і вологість повітря (e), то випарування визначається за теплий період року з виразів

$$E = E_o \frac{W^n + W^к}{2} \quad \text{при} \quad \frac{W^n + W^к}{2} < W_o \qquad (3.33)$$

$$E = E_o \quad \text{при} \quad \frac{W^n + W^к}{2} \geq W_o \ , \qquad (3.34)$$

де E_o – випарність, мм;

W^n і $W^к$ – запаси продуктивної вологи у метровому шарі грунту відповідно на початку і наприкінці періоду, мм;

W_o – критичний запас продуктивної вологи у метровому шарі, за якого і вище якого $E = E_o$, мм.

Приклад розрахунків у *табл.3.18*.

До методів, основу яких складають рівняння теплового і водного балансів, відноситься і метод В.С.Мезенцева

$$E = E_o \left[1 + \left(\frac{kr + W_n - W_к}{E_o}\right)^m\right]^{-1/m} \quad , \qquad (3.35)$$

де E_o – випарність, мм;

r-опади,мм;

Таблиця 3.18 – **Приклад розрахунку випарування впродовж року комплексним методом**

№ рядка	Характеристика	Розмір-ність	I	II	III	IV	V	VI
1	t	^{0}C	-4,2	-3,6	-0,5	5,0	10,2	15,8
2	e	мб	4,3	4,3	4,4	6,0	7,3	12,2
3	x	мм	127	39	12+161	75	26	41
4	y	мм	8	7	9+15	113	23	8
5	e_t	мб	4,3	4,5	5,9	8,7	12,4	17,9
6	$d = (e_t - e)$	мб	0,0	0,2	1,5	2,7	5,1	5,7
7	E_0	мм	2	3	15	45	95	112
8	w_0	мм			200	200	170	150
9	$2w_0$	мм			400	400	340	300
10	$E_0 / 2w_0$				0,038	0,113	0,279	0,373
11	$a = 1 + E_0 / 2w_0$				1,038	1,113	1,279	1,373
12	$b = 1 - E_0 / 2w_0$				0,969	0,887	0,721	0,627
13	w_n	мм			200	334	251	159
14	$w_n b$	мм						100
15	$c = w_1 b + x - y$	мм						133
16	$w_к = c / a$ при $(w_n + w_к) / 2 < w_0$	мм						97
17	$w_к = w_n + x - y - E_0$ при $(w_n + w_к) / 2 \geq w_0$	мм			334	251	159	

Продовження таблиці 3.18

№ рядка	Характеристика	Розмір-ність	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік	Холодний період
1	t	^{0}C	18,7	17,1	8,0	3,7	-2,2	-8,7		
2	e	мб	14,6	13,6	9,2	6,8	5,1	3,3		
3	x	мм	78	34	74	55	35	32	628	166
4	y	мм	6	4	5	5	6	4	198	15
5	e_t	мб	21,6	19,5	10,7	8,0	5,1	2,9		
6	$d = (e_t - e)$	мб	7,0	5,9	1,5	1,2	0,0	-0,4		
7	E_0	мм	123	95	34	20	3	0	547	5
8	w_0	мм	150	150	150	150	170			
9	$2w_0$	мм	300	300	300	300	340			
10	$E_0 / 2w_0$		0,410	0,317	0,113	0,067	0,009			
11	$a = 1 + E_0 / 2w_0$		1,410	1,317	1,113	1,067	1,009			
12	$b = 1 - E_0 / 2w_0$		0,590	0,683	0,887	0,933	0,991			
13	w_n	мм	97	91	70	118	150			
14	$w_n b$	мм	57	62	62	110	149			
15	$c = w_1 b + x - y$	мм	129	92	131	160	178			
16	$w_к = c / a$ при $(w_n + w_к) / 2 < w_0$	мм	91	70	118	150	177			
17	$w_к = w_n + x - y - E_0$ при $(w_n + w_к) / 2 \geq w_0$	мм								

k - коефіцієнт недорахування опадів;

$m = \dfrac{0{,}301}{\lg \dfrac{E}{E_o}}$ – параметр, що враховує рельєф місцевості, для рівнин він становить 3, для пересіченого рельєфу – 2;

W_n і $W_к$ – вологозапаси метрового шару грунту;

E_o – сума позитивних часток радіаційного балансу.

До тепловоднобалансових методів відноситься також і метод Л.Пен-мана

$$E = K_в\,(\,aR + вE_a\,)\,(\,a + в\,)^{-1}\,, \qquad (3.36)$$

де $K_в$ – перехідний коефіцієнт, що становить 0,8-влітку; 0,6 -взимку; 0,7-навесні і восени;

a – нахил кривої насичення водяної пари при заданій тем-пературі;

R – радіаційний баланс діючого шару води;

$в$ – психрометрична стала;

$E_a = 0{,}35(0{,}5 + 0{,}5374)(e_{нас} - e)$.

Існує ще багато методів визначення сумарного випарування, які мають досить обгрунтовані підстави для їх використання.

В основу методу О.Р.Костянтинова покладено положення про те, що випарування з сільскогосподарських полів визначається внутрішніми і зовнішніми факторами життя рослин. Загалом формула має вигляд:

$$E = f(E_o, W, B), \qquad (3.37)$$

де B – біологічні властивості рослин, що визначаються видом, сортом та фазою їх розвитку;

E_o – випарність;

W – вологозапаси грунту.

В останні роки все більше застосовуються формули Х.П.Блейні і У.Д.Крідла, У.У.Торнтвейнта.

Формула Х.П.Блейні і У.Д.Крідла:

$$E = K_в Q \frac{46T + 813}{100}\,, \qquad (3.38)$$

де $K_в$ – емпіричний коефіцієнт, що залежить від біологічних особливостей рослин;

Q – середня за місяць тривалість дня у % від середньої тривалості за рік;

T – середня за місяць температура повітря.

Формула У.У.Торнтвейнта:

$$E = 1{,}6\left(\frac{10T}{J}\right)^a, \qquad (3.39)$$

де T – середня за місяць температура повітря;

$J = f_1(T)$ – визначається сумою середніх місячних індексів тепла;

$a = f_2(T)$ - емпіричний коефіцієнт, однаковий для усіх сільскогосподарських культур.

Розрахунок випарування будь-яким із методів потребує визначення помилки отриманих результатів. Мірою невідповідності виміряних (E_B) і розрахованих величин (E_p) випарування є середня квадратична (s_S) помилка, що обчислюється як:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(E_p - E_B)^2}{n}}, \qquad (3.40)$$

де n – кількість випадків.

Виміряна величина випарування (E_B) також має певну помилку $\Delta = E_B - E_ф$, де $E_ф$ – фактична величина випарування. Тоді:

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\left(E_p - E_ф\right)^2 + \left(E_B - E_ф\right)^2}{n}} \qquad (3.41)$$

або $$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_p^2 + \sigma_ф^2}, \qquad (3.42)$$

де σ_p та $\sigma_ф$ - відповідно середньоквадратичні розходження між розрахованою і фактичною величинами та між виміряною і фактичною величиною.

Якщо при порівнянні розрахованих будь-яким методом та виміряних величин буде $\sigma_{\Sigma} = \sqrt{2\sigma_{\phi}}$, то такий метод розрахунку приймається для використання у даній місцевості.

3.5.5 Визначення випарування із зрошуваних сільскогосподарських угідь

Для визначення випарування з сільськогосподарських угідь, які зрошуються, використовуються методи теплового балансу (розд.*3.5.1*), тепловоднобалансовий метод та біокліматичний метод УкрНДГМІ.

Тепловоднобалансовий метод. Цей метод дозволяє визначати випарування із зрошуваних сільскогосподарських угідь за місяць та за вегетаційний період. Метод запропоновано С.І.Харченко [18]. Для розрахунку місячних значень випарування в теплу пору року використовується формула:

$$E = \beta E_o \frac{W_n + W_к}{2\gamma}, \qquad (3.43)$$

де E – випарування, мм;

E_o – випарність, мм;

β – параметр, який враховує фазу розвитку рослин, визначається з *табл.3.19*;

W_n та $W_к$ – запаси продуктивної вологи на початку та в кінці періоду розрахунку, мм;

γ – вільна щільність шару грунту, яка дорівнює водоутримувальній здатності і визначається:

$$\gamma = W_{HB} - W_{BB} \ , \qquad (3.44)$$

де W_{HB} -W_{BB} – запаси вологи в метровому шарі грунту відповідно при найменшій вологоємності і вологості в’янення.

Таблиця 3.19 – **Значення параметра β для різних сільскогосподарських культур у різні фази розвитку**

Фази розвитку зернових	Середнє значення β
До сівби	0, 80
До сходів	0,90
Сходи	0,98
Кущіння (утворення листя)	1,08
Вихід у трубку (викидання волоті), бутонізація	1,20
Цвітіння	1,18
Достигання	1,00

Запаси продуктивної вологи на кінець періоду $W_к$ розраховуються за формулою:

$$W_к = \frac{S}{f} = \frac{W_n(1-\beta E_o/2\gamma) + r + M + K}{1+\beta E_o/2\gamma} \quad , \qquad (3.45)$$

де $S = W_n \cdot C + r + M + K$;

$f = (1 + \beta E_o / 2\gamma)$;

$C = (1- \beta E_o / 2\gamma)$;

r – місячна сума опадів,мм;

M – кількість води, витраченої на зрошення, мм;

K – втрата грунтових вод у зону аерації (капілярне підживлення, мм).

Якщо запаси продуктивної вологи на кінець періоду $W_к$ перевищують водоутримувальну здатність грунту $\gamma(W_к > \gamma)$, то $W_к$ приймається рівною $\gamma(W_к=\gamma)$.

Метод використовується тільки у теплий період року, до якого відносяться місяці з позитивною температурою повітря. Випарність (E_o) для теплих місяців визначається з *рис.3.14(а,б,в,г,д)* в залежності від геоботанічної зони і приблизного значення дефіциту насичення повітря [$d=(l_t - e)$].

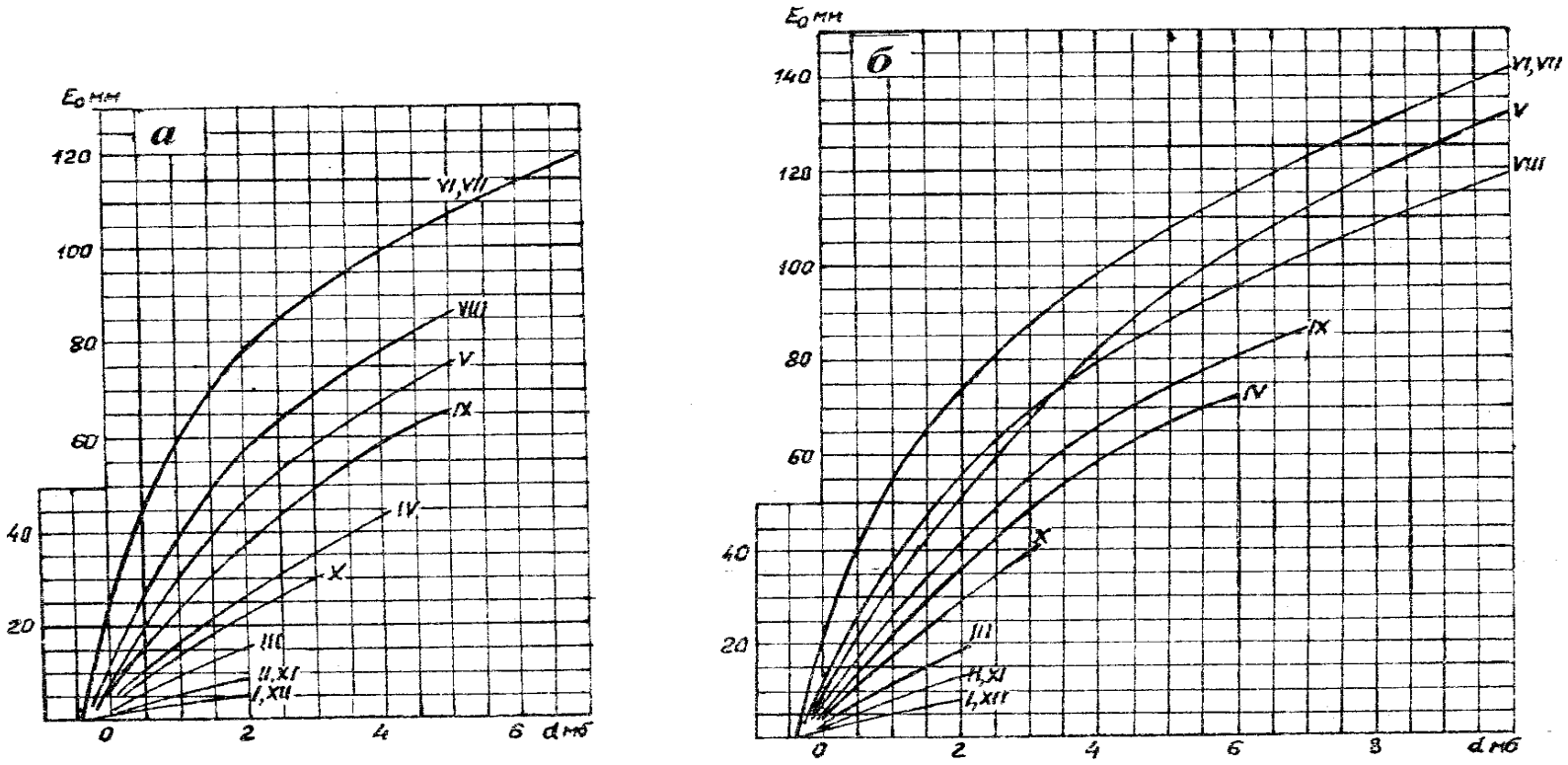


Рис.3.14 – **Середня багаторічна випарність у залежності від середньої багаторічної місячної різниці d = (e_t – e) для різноманітних геоботанічних зон: *а* – тундри та лісотундри; *б* – хвойні ліси;**

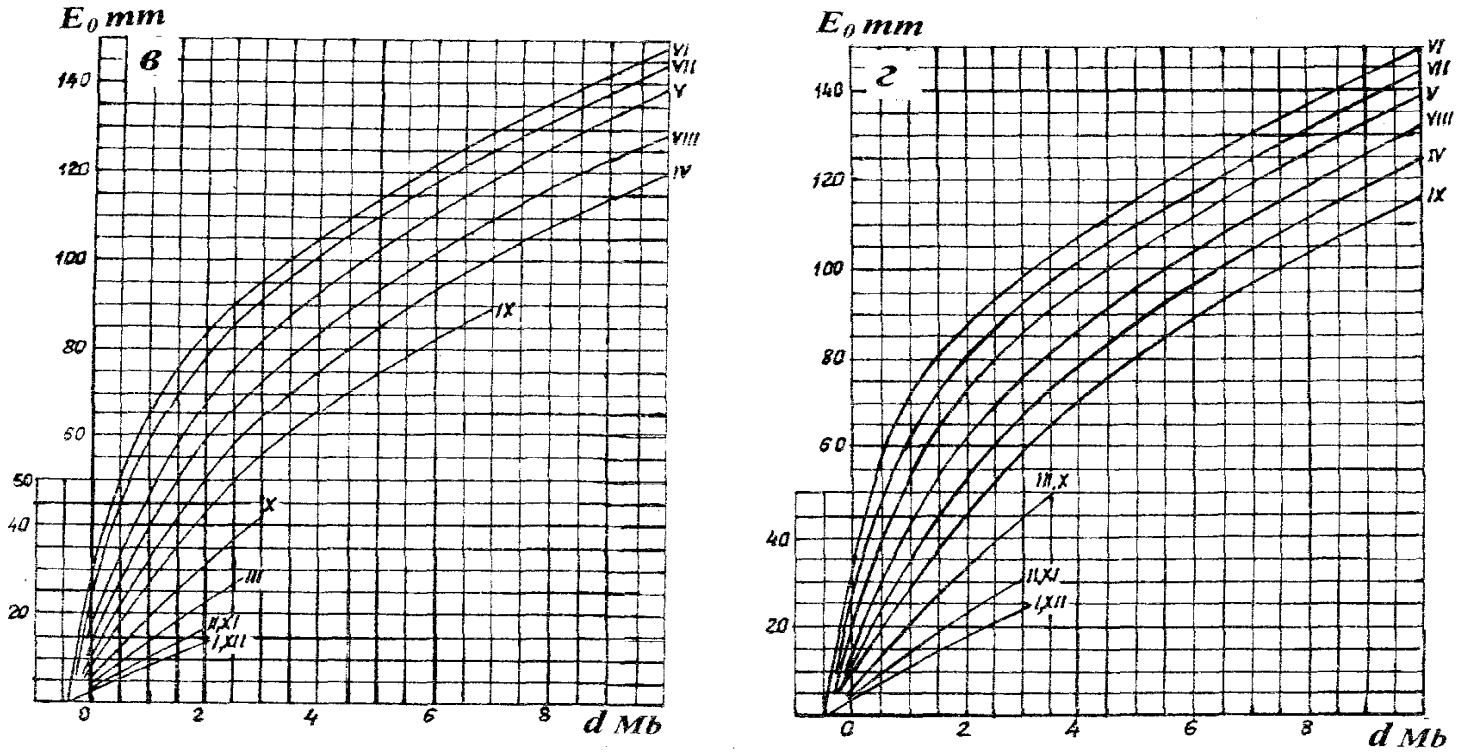


Рис.3.14 – **Середня багаторічна випарність у залежності від середньої багаторічної місячної різниці d = (e_t – e) для різноманітних геоботанічних зон: *в* – змішані ліси; *г* – листяні ліси.**

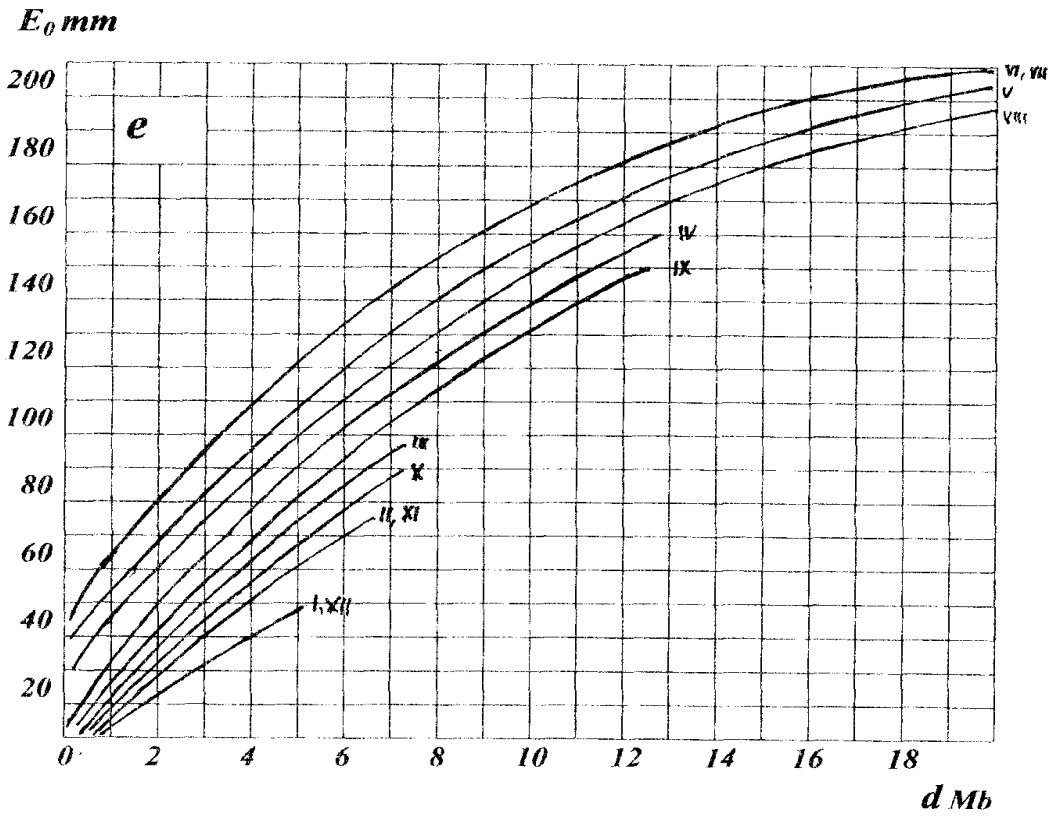


Рис.3.14 – **Середня багаторічна випарність у залежності від середньої багаторічної місячної різниці d = (e_t – e) для різноманітних геоботанічних зон: *e* – степи, напівпустелі та листяні ліси Кавказу і Криму.**

Капілярне підживлення визначається з формули:

$$K = E_0 / e^{mH}, \qquad (3.46)$$

де H – середня для кожного місяця глибина залягання грунтових вод, м;

m – параметр, який визначається в залежності від типу грунтів і фази розвитку рослин з *табл.3.20*.

Таблиця 3.20 – **Значення коефіцієнта *m* у формулі $k = E_o / e^{mH}$**

Грунти	Періоди розвитку рослин				
	До сівби та перша декада після сівби	Друга декада після сівби	Декада в період активної вегетації	Перед-остання декада перед стиглістю	Остання декада перед збиранням
Глинисті	1,2	0,9	0,7	0,9	1,2
Суглинки	1,4	1,0	0,8*	1,0	1,4
Супіщані	2,0	1,6	1,1	1,6	2,0

*) Каштанові грунти, сіроземи m = 0,7

Величина e^{mH} визначається з *табл.3.21*.

Приклад розрахунку наводиться у *табл.3.22*.

Розрахунок для гідрометеостанції з широтою $43^0 20$, довготою $68^0 30$. Період вегетації з 22 травня по 30 вересня. W_1= 125 мм. З *рис.3.14* знімається величина E_o за місяць і для отримання значення E_o за період його значення помножують на відношення n/N_i; n – тривалість міжфазного періоду у днях; N_i – кількість днів у місяці. Параметр β визначається з *табл.3.19* як середня величина з врахуванням тривалості окремих міжфазних періодів.

<u>*Біокліматичний метод розрахунку сумарного випарування*</u>. Цей метод запропоновано А.М.Алпатьєвим та уточнено С.М.Алпатьєвим в УНДГМІ. Застосовується метод для розрахунку випарування на зрошуваних ділянках у тому випадку, коли зволоження у кореневому шарі грунту становить не менше 65% найменшої вологоємності. Метод враховує біологічні властивості рослин [13] .

Розрахунок випарування виконується згідно з формулою:

$$E = a \cdot \sum d \quad , \qquad (3.47)$$

де E – випарування, мм;

a – біологічний коефіцієнт випарування, який змінюється згідно з кривою, притаманною кожному виду рослин;

$\sum d$ –сума середніх за добу дефіцитів насичення повітря за розрахунковий період на висоті 2,0 м.

Значення a, визначені дослідним шляхом різними авторами, наведені у *табл.3.23*. До появи сходів усіх культур коефіцієнт становить 0,15 за відсутності опадів, та 0,19 при частих опадах.

Наприклад: Розрахувати випарування в районі Снігірівки. Розрахунок наводиться у *табл.3.24.*

Згідно з [11, 33, 44-49] випарування із зрошуваних полів, що розташовані серед незрошуваних ділянок, зазнає впливу адвекції.

Для переходу від випарування з ділянок, що не зазнають впливу адвекцій, до випарування з ділянок, які зазнають такого впливу, застосовується перевідний коефіцієнт (α_l), що розраховується за допомогою формули:

$$\alpha_l = \alpha_{півн} P_{півн} + \alpha_{сх} P_{сх} + \alpha_{півд} P_{півд} + \alpha_з P_з \, , \qquad (3.48)$$

де $P_{півн}$, $P_{сх}$, $P_{півд}$, $P_з$ – подані в частках одиниці місячні повторення північного, східного, південного і західного румбів;

$\alpha_{півн}$, $\alpha_{сх}$, $\alpha_{півд}$, $\alpha_з$ – параметри, які розраховуються для кожного з румбів напрямку вітру (i) за формулою:

$$\alpha_ш = \left(\frac{\beta_0}{\beta} - 1 \right) \cdot e^{-nL} + 1 \quad , \qquad (3.49)$$

де β – параметр, що визначається з *табл.3.25*;

β_0 – значення параметра β на межі зрошуваного поля з незрошуваним, яке становить 2,2;

e – основа натуральних логарифмів;

n = 0,006;

L – довжина розгону вітру відповідного румбу над зрошуваним полем, n ; якщо L>500 м, то параметр $\alpha_ш$ =1.

Таблиця 3.21 – **Величина e^{mH} в залежності від *m* та *H***

Параметр *m*	Середня глибина залягання грунтових вод *H*, *m*									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,7	1,00	1,07	1,15	1,23	1,32	1,42	1,52	1,63	1,75	1,88
0,8	1,00	1,08	1,17	1,27	1,38	1,49	1,62	1,75	1,90	2,05
0,9	1,00	1,09	1,20	1,31	1,43	1,57	1,72	1,88	2,05	2,25
1,0	1,00	1,11	1,22	1,35	1,49	1,65	1,82	2,01	2,23	2,46
1,1	1,00	1,12	1,25	1,39	1,55	1,73	1,93	2,16	2,41	2,69
1,2	1,00	1,13	1,27	1,43	1,62	1,82	2,05	2,32	2,61	2,94
1,3	1,00	1,14	1,30	1,48	1,68	1,92	2,18	2,48	2,83	3,22
1,4	1,00	1,15	1,32	1,52	1,75	2,01	2,32	2,66	3,06	3,53
1,5	1,00	1,16	1,35	1,57	1,82	2,12	2,46	2,86	3,32	3,86
1,6	1,00	1,17	1,38	1,62	1,90	2,23	2,61	3,06	3,60	4,22
1,7	1,00	1,19	1,40	1,67	1,97	2,34	2,77	3,29	3,90	4,62
1,8	1,00	1,20	1,43	1,72	2,05	2,46	2,94	3,53	4,22	5,05
1,9	1,00	1,21	1,46	1,77	2,14	2,59	3,13	3,78	4,57	5,53
2,0	1,00	1,22	1,49	1,82	2,23	2,72	3,32	4,06	4,95	6,05
2,1	1,00	1,23	1,52	1,88	2,32	2,86	3,53	4,35	5,37	6,62
2,2	1,00	1,25	1,55	1,93	2,41	3,00	3,74	4,66	5,81	7,24
Параметр *m*	Середня глибина залягання грунтових вод *H*, *m*									
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
0,7	2,01	2,16	2,32	2,48	2,66	2,86	3,06	3,29	3,53	3,78
0,8	2,23	2,41	2,61	2,83	3,06	3,32	3,60	3,90	4,22	4,57
0,9	2,46	2,69	2,94	3,22	3,53	3,86	4,22	4,62	5,05	5,53
1,0	2,72	3,00	3,32	3,67	4,06	4,48	4,95	5,47	6,05	6,69
1,1	3,00	3,35	3,74	4,18	4,66	5,21	5,81	6,49	7,24	8,08
1,2	3,32	3,74	4,22	4,76	5,37	6,05	6,82	7,69	8,67	9,78
1,3	3,67	4,18	4,76	5,42	6,17	7,03	8,00	9,12	10,4	11,8
1,4	4,06	4,66	5,37	6,17	7,10	8,17	9,39	10,8	12,4	14,3
1,5	4,48	5,21	6,05	7,03	8,17	9,49	11,0	12,8	14,9	17,3
1,6	4,95	5,81	6,82	8,00	9,39	11,0	12,9	15,2	17,8	20,9
1,7	5,47	6,49	7,69	9,12	10,8	12,8	15,2	18,0	21,3	25,3
1,8	6,05	7,24	8,67	10,4	12,4	14,9	17,8	21,3	25,5	30,6
1,9	6,69	8,08	9,78	11,8	14,3	17,3	20,9	25,3	30,6	37,0
2,0	7,39	9,02	11,0	13,5	16,4	20,1	24,5	30,0	36,6	44,7
2,1	8,17	10,1	12,4	15,3	18,9	23,9	28,8	35,5	43,8	54,1
2,2	9,02	11,2	14,0	17,5	21,8	27,1	33,8	42,1	52,5	65,4

Продовження таблиці 3.21

Пара-метр *m*	Середня глибина залягання грунтових вод *H*, *m*									
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
0,7	4,06	4,35	4,66	5,00	5,37	5,75	6,17	6,62	7,10	7,61
0,8	4,95	5,37	5,81	6,30	6,82	7,39	8,00	8,67	9,39	10,2
0,9	6,05	6,62	7,24	7,92	8,67	9,49	10,4	11,4	12,4	13,6
1,0	7,39	8,17	9,02	9,97	11,00	12,2	13,5	14,9	16,4	18,2
1,1	9,02	10,1	11,2	12,6	14,0	15,6	17,5	19,5	21,8	24,3
1,2	11,0	12,4	14,0	15,8	17,8	20,1	22,6	25,3	28,8	32,5
1,3	13,5	15,3	17,5	19,9	22,6	25,8	29,4	33,4	38,1	43,4
1,4	16,4	18,9	21,8	25,0	28,8	33,1	38,1	43,8	50,4	58,0
1,5	20,1	23,3	27,1	31,5	36,6	42,5	49,4	57,5	66,7	77,3
1,6	24,5	28,8	33,8	39,6	46,5	54,6	64,1	75,0	88,3	104
1,7	30,0	35,5	42,1	49,9	59,0	70,2	83,6	98,2	117	
1,8	36,6	43,8	52,5	62,6	75,0	90,0	108	129		
1,9	44,7	54,1	65,3	79,1	95,3	115				
2,0	54,6	66,7	81,5	99,2	122	148				
2,1	66,8	82,0	102	125						
2,2	81,5	102	126							

Пара-метр *m*	Середня глибина залягання грунтових вод *H*, *m*									
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
0,7	8,17	8,76	9,39	10,1	10,8	11,6	12,4	13,3	14,3	15,3
0,8	11,0	11,9	12,9	14,0	15,2	16,4	17,8	19,3	20,9	22,6
0,9	14,9	16,3	17,8	19,5	21,3	23,3	25,5	27,9	30,6	33,4
1,0	20,1	22,4	24,5	27,1	30,0	33,1	33,6	40,4	44,7	49,4
1,1	27,1	30,3	33,8	37,7	42,1	47,0	52,5	58,4	65,3	72,8
1,2	36,6	41,3	46,5	52,5	59,0	66,7	75,2	84,4	95,6	108
1,3	49,4	56,1	64,0	73,3	82,9	94,8	108	123	139	
1,4	66,7	76,5	88,0	102	117	134				
1,5	90,0	104	122							
1,6	122									

Пара-метр *m*	Середня глибина залягання грунтових вод *H*, *m*										
	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0
0,7	16,4	17,6	18,9	20,3	21,8	23,3	25,0	26,8	28,8	30,9	33,2
0,8	24,5	26,6	28,8	31,2	33,8	36,6	39,6	42,9	46,5	50,4	54,6
0,9	36,6	40,0	43,8	47,9	52,5	57,5	62,5	68,5	75,5	82,1	90,0
1,0	54,6	60,3	66,7	73,7	81,5	90,0	99,0	110	122	134	148
1,1	81,5	90,7	101	113	126	141	158				

Таблиця 3.22 – **Приклад розрахунку випарування за методом С.І.Харченко**

№ рядка	Умовні позначки	Розмірність	I	II	III	IV	V	VI
1969 р. Період вегетації 22/V – 30/IX. Перехід середньої добової температури повітря через +5^{0}C: 16/III 11/XI Початкові дані розрахунку (первісні)								
1	t	^{0}C	-14,5 -	-15,6	2,9	13,9	21,0	25,8
2	e	мб	1,7	1,3	5,6	10,0	11,7	12,3
3	x	мм	17,0	4,0	86+46	56	22	
4	M	мм					49	359
5	H	м			2,8	2,7	2,5	1,9
6	d_2	мб	0,7	1,0				
Похідні дані (другорядні)								
7	$E_c = 0{,}37\ nd_2$	мб	8	11				
8	e_t	мб			7,5	15,9	24,9	33,2
9	$d = (e_t - e)$	мб			1,9	5,9	13,2	20,9
10	E^0	мм			47	110	175	227
11	m				1,4	1,4	1,4	0,8
12	e^{mH}				50,4	43,8	33,1	4,57
13	$k = E_0 / e^{mH}$	мм			1	3	5	50
14	$E_0 / 2\gamma$				0,16	0,37	0,59	0,77
15	β				0,87	0,80	0,83	0,98
16	$\beta E_0 / 2\gamma$				0,14	0,30	0,49	0,76
17	$c = (1 - \beta E_0 / 2\gamma)$				0,86	0,70	0,51	0,24
18	$f = (1 + \beta E_0 / 2\gamma)$				1,14	1,30	1,49	1,76
Розрахунок								
19	w_1	мм			44	148	125	94
20	$w_1 c$	мм			38	104	64	23
21	$S = w_1 c + x + M + K$	мм			171	163	140	432
22	$w_2 = S / f$	мм			148	125	94	148
23	$(w_1 + w_2) / 2$	мм			96	136	110	121
24	βE_0	мм			41	88	145	222
Результати								
25	$E = \beta E_0 (w_1 + w_2) / 2\gamma$	мм			27	81	108	182

Продовження таблиці 3.22

№ ря-дка	Умовні позначки	Роз-мір-ність	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1969 р. Період вегетації 22/V – 30/IX. Перехід середньої добової температури повітря через +5^{0}C: 16/III 11/XI Початкові дані розрахунку (первісні)								
1	t	^{0}C	26,1	24,9	18,9	10,1	5,7	4,0
2	e	мб	13,6	11,2	9,9	8,5	6,9	6,5
3	x	мм	14		3	26	14	27
4	M	мм	170	200	95			
5	H	м	2,3	2,4	3,0	3,0	3,0	3,0
6	d_2	мб						
Похідні дані (другорядні)								
7	$E_c = 0{,}37\ nd_2$	мб						
8	e_t	мб	33,8	31,5	21,8	12,4	9,2	8,1
9	$d = (e_t - e)$	мб	20,2	20,3	11,9	3,9	2,3	1,6
10	E^0	мм	224	210	147	67	40	25
11	m		0,7	0,7	1,0	1,4	1,4	1,4
12	e^{mH}		5,00	5,37	20,1	66,7	66,7	66,7
13	$k = E_0 / e^{mH}$	мм	45	39	7	1	1	0
14	$E_0 / 2\gamma$		0,76	0,71	0,50	0,23	0,14	0,08
15	β		1,23	1,18	1,02	0,80	0,87	0,90
16	$\beta E_0 / 2\gamma$		0,94	0,84	0,51	0,18	0,12	0,07
17	$c = (1 - \beta E_0 / 2\gamma)$		0,06	0,16	0,49	0,82	0,88	0,93
18	$f = (1 + \beta E_0 / 2\gamma)$		1,94	1,84	1,51	1,18	1,12	1,07
Розрахунок								
19	w_1	мм	148	123	141	113	102	94
20	$w_1 c$	мм	19	20	69	93	90	87
21	$S = w_1 c + x + M + K$	мм	238	259	171	120	105	114
22	$w_2 = S / f$	мм	123	141	113	102	94	106
23	$(w_1 + w_2) / 2$	мм	136	132	127	108	98	100
24	βE_0	мм	276	248	150	54	35	22
Результати								
25	$E = \beta E_0 (w_1 + w_2) / 2\gamma$	мм	254	221	129	39	23	15

Таблиця 3.23 – **Коефіцієнти *a* (формула (*3.47*)) для визначення потреб сільськогосподарських рослин у воді**

Декада вегетації	Цукрові буряки	Кукурудза	Озима пшениця	Яра пшениця	Картопля	Овочеві
1	0,29	0,23	0,53	0,27	0,23	0,42
2	0,32	0,25	0,53	0,30	0,25	0,46
3	0,35	0,29	0,52	0,33	0,30	0,60
4	0,37	0,31	0,51	0,36	0,33	0,78
5	0,39	0,38	0,50	0,41	0,36	0,81
6	0,41	0,41	0,49	0,44	0,39	0,75
7	0,43	0,45	0,47	0,47	0,43	0,72
8	0,47	0,49	0,43	0,47	0,56	0,69
9	0,49	0,49	0,42	0,46	0,56	0,65
10	0,50	0,49	0,41	0,44	0,52	0,56
11	0,49	0,46	0,34	0,41	0,50	0,52
12	0,47	0,43	0,23	0,40	0,47	0,51
13	0,45	0,40		0,37	0,45	0,49
14	0,43	0,37			0,39	0,42
15	0,42	0,32			0,37	0,37
16	0,41	0,26			0,33	0,35

Таблиця 3.24 – **Приклад розрахунку випарування за методом А.М. Алпатьєва з кукурудзяного поля в районі ст. Снігірівка**

Період	Сума середньо-добових температур за декаду	Коефіцієнт *a*	Сума середніх добових дефіцитів насичення повітря,(Σd,мб)	Сумарне випарува-ння, (E,мм)
21-30.04	73	0,15	31	5
1-10.05	89	0,15	32	6
11-20.05	110	0,15	56	6
21-31.05	221	0,23	63	8
1-10.06	209	0,29	70	9
11-20.06	231	0,31	70	16
21-30.06	216	0,38	106	20
1-10.07	214	0,45	112	33
11-20.07	219	0,48	109	43
21-31.07	239	0,51	135	44
1-10.08	210	0,48	136	51
11-20.08	214	0,43	137	65
21-30.08	198	0,41	138	57

Таблиця 3.25 – **Декадні значення параметра β у період вегетації сільськогосподарських культур**

Культура	Порядковий номер декади від дати початку вегетаційного періоду (посіву)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Зернові	0,90	1,10	1,20	1,20	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00	0,95					
Широкорядні пропашні	0,90	0,90	0,95	1,10	1,20	1,25	1,25	1,25	1,20	1,10	1,10	1,00	0,95	0,90	0,90
Рис: ранні сорти пізні сорти	 0,90 0,80	 0,95 0,85	 1,00 0,90	 1,05 1,00	 1,20 1,00	 1,25 1,05	 1,25 1,20	 1,20 1,25	 1,10 1,25	 1,00 1,25	 0,90 1,25	1,20	1,10	1,00	0,90

3.6 Визначення вологопотреби та вологозабезпеченості сільськогосподарських культур

Значний вплив на ріст та розвиток рослин і формування їх врожаю має вологозабезпеченість посівів впродовж вегетаційного періоду. Знання значень вологозабезпеченості посівів дозволяє дати досить правдиву оцінку ефективності тих або інших агротехнічних заходів, а також визначити види на врожай.

Вологозабезпеченість посівів – це відповідність кількості води, що утримується в грунті, тій кількості, яка необхідна рослинам для нормального росту та розвитку. Іншими словами, за вологозабезпеченість приймають міру задоволення сільськогосподарських культур вологою. Визначення вологозабезпеченості проводиться з врахуванням вологи в грунті та потреби рослин у воді.

Потреба сільськогосподарських культур у воді – це витрати води в польових умовах на транспірацію та випарування з поверхні грунту при безперебійному постачанні вологи до коріння, що забезпечує нормальний ріст та розвиток рослин.

О.М. Алпатьєвим [12,13] було доведено, що в умовах найсприятливішого зволоження сумарні витрати води визначаються комплексом атмосферних процесів. За показник, що відображає вплив температури повітря, вологості повітря та грунту, вітру, хмарності та ін. було запропоновано випарність.

Випарність – найбільш можливе випарування води фітоценозом при зімкнутому травостої за необмеженого надходження вологи до випарного тіла за даних метеорологічних умов.

При цьому випарність визначається згідно з будь-якою з існуючих формул.

В останні роки [17, 26, 27] методи розрахунку випарності поділяють на дві групи: біокліматичні методи та методи, що враховують тільки метеорологічні чинники.

До біокліматичних методів визначення випарності відносяться методи, які грунтуються на виявленні зв’язків випарності з обмеженою кількістю факторів, що мають бути визначені безпосередньо. Це формули О.М. Алпатьєва, І.А. Шарова, С.І.Харченко [18].

Найбільш поширеним методом розрахунку випарності є формула, запропонована О.М.Алпатьєвим (3.47).

За головний елемент, що визначає величину випарності, автором обрано дефіцит пружності водяної пари, тому що він є похідною від температури і вологості повітря, тобто комплексним показником умов

випарування ($\sum d$). Крім того, О.М.Алпатьєвим введено поняття біологічного коефіцієнта випарування (a), фізичний зміст якого полягає в тому, що він характеризує нащадковий ритм розвитку рослин в онтогенезі.

Значення коефіцієнта a в середньому приймають рівним 0,49 гПа, або 0,65 мб. Слід відзначити, що коефіцієнт змінюється для однієї і тієї ж культури в її онтогенезі, а також його значення неоднакове для різних сільськогосподарських культур.

Так, О.В.Процеровим проведено уточнення значення біологічного коефіцієнта випарування для ярих зернових культур. Він звертав увагу на те, що доцільно розраховувати подекадні значення вологопотреби. Вологопотреба ярих зернових в період від сівби до цвітіння розраховується за рівнянням:

$$E_o = 0{,}45 \sum d \,, \qquad (3.50)$$

а в період від цвітіння до воскової стиглості за рівнянням:

$$E_o = 0{,}30 \sum d \,, \qquad (3.51)$$

де $\sum d$ – сума дефіцитів насичення повітря за декаду, гПа.

Окрім вказаних методів для визначення випарування в умовах безперебійного постачання води до випарної поверхні використовуються формули водного балансу, теплового балансу, комплексний метод та багато інших, запропонованих вітчизняними та зарубіжними вченими (див. розділ *3.5*).

Якщо в цілому за вегетаційний період за даними випарності визначають вологопотребу сільськогосподарських культур, то в онтогенезі рослин спостерігаються відхилення, які пов’язані з біологічними особливостями кожного виду рослин. Ці відхилення відображають через біологічну криву, яка дозволяє визначити вологопотребу сільськогосподарських культур за окремі міжфазні періоди.

Біологічна крива відображає комплексний вплив не тільки середовища, а і ритмів розвитку на споживання води рослинами. Коефіцієнти біологічної кривої розраховуються за кожну декаду розвитку культури шляхом ділення фактичних валових витрат води на суму дефіцитів насичення повітря:

$$a = \frac{E_o}{\sum d} \qquad (3.52)$$

Щоб визначити значення коефіцієнтів біологічної кривої будь-якої культури, необхідно проводити розрахунки подекадно і осереднити їх значення за 5-7 років.

Приклад визначення коефіцієнтів біологічної кривої солодкого перцю наводиться у *табл.3.26.*

Таблиця 3.26 – **Значення коефіцієнтів біологічної кривої солодкого перцю по декадах розвитку (ст.Одеса)**

Роки	Значення *a* по декадах розвитку												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	сер.
1987		0,56	0,79	0,77	0,69	0,58	0,47	0,48	0,35	0,30	0,29	0,56	0,56
1988	0,28	0,45	0,34	0,80	0,89	0,92	0,85	0,80	0,67	0,52	0,45	0,40	0,62
1989	0,68	0,50	0,40	0,44	0,62	0,74	0,68	0,53	0,40	0,38	0,38	-	0,53
1990	0,57	0,70	0,73	0,84	0,85	0,79	0,49	0,40	0,68	0,60	0,55	0,52	0,65
1991	0,34	0,20	0,88	0,89	0,78	0,69	0,59	0,64	0,46	0,65	0,60	-	0,61
1992	0,30	0,59	0,77	0,80	0,81	0,80	0,79	0,75	0,64	0,59	0,58	0,58	0,66
1993	0,37	0,42	0,46	0,86	0,88	0,81	0,76	0,75	0,67	0,58	0,56	-	0,65
Середнє	0,42	0,46	0,60	0,75	0,80	0,79	0,67	0,58	0,52	0,52	0,50	-	0,61

Біологічна крива будується так. На осі абсцис наносяться декади вегетації культури, на осі ординат – коефіцієнти, що одержані за вищевказаним методом (*рис.3.15*).

Визначення фактичного сумарного випарування проводиться за рівнянням водного балансу:

$$E_ф = r + S_{пов.} + S_{гр.} + S_{бічн.} - \Delta W, \qquad (3.53)$$

де r – опади, мм;

$S = S_{пов.} + S_{гр.} + S_{бічн.}$ – сумарний стік, що дорівнює сумі поверхневого ($S_{пов.}$), грунтового ($S_{гр.}$), бічного ($S_{бічн.}$);

$\Delta W = W_n - W_к$ – різниця між початковими і кінцевими запасами продуктивної вологи шару грунту активного вологообміну.

У більшості розрахунків випарування кількість води, що проникає у нижні шари грунту, не враховується через недостатнє вивчення і малі величини. Тому використовують спрощену формулу водного балансу:

$$E_ф = r + (W_n - W_к)$$

Таблиця 3.27 – **Приклад розрахунку вологозабезпеченості**

(автостанція Лошкарівка) культура – овес

Найменування елементів	Квітень		Травень			Червень			Липень		
	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1.Середня за декаду температура повітря, ^{0}C	7,0	10,0	13,0	15,0	18,0	19,0	21,0	23,0	22,0	22,0	
2. Сума опадів, мм	11	15	26	7	16	1	5	10	25	20	
3. Запаси вологи ($W_{0\text{-}100}$), мм	120	110	105	90	80	50	25	15	22	27	
4. Середньодекадний дефіцит насичення, мм	2,5	2,5	3,5	4,9	6,0	9,7	9,0	10,5	8,2	8,2	
5. Випарність, мм	13	15	20	29	36	58	54	42	33	33	
6. Сумарні випарування, мм		20	20	28	26	30	30	20	18	15	
7. Вологозабезпеченість за декаду, %		133	100	96	72	52	56	48	55	45	
8. Середня вологозабезпеченість за період вегетації вівса, %		133	116	110	100	90	85	80	76	72	

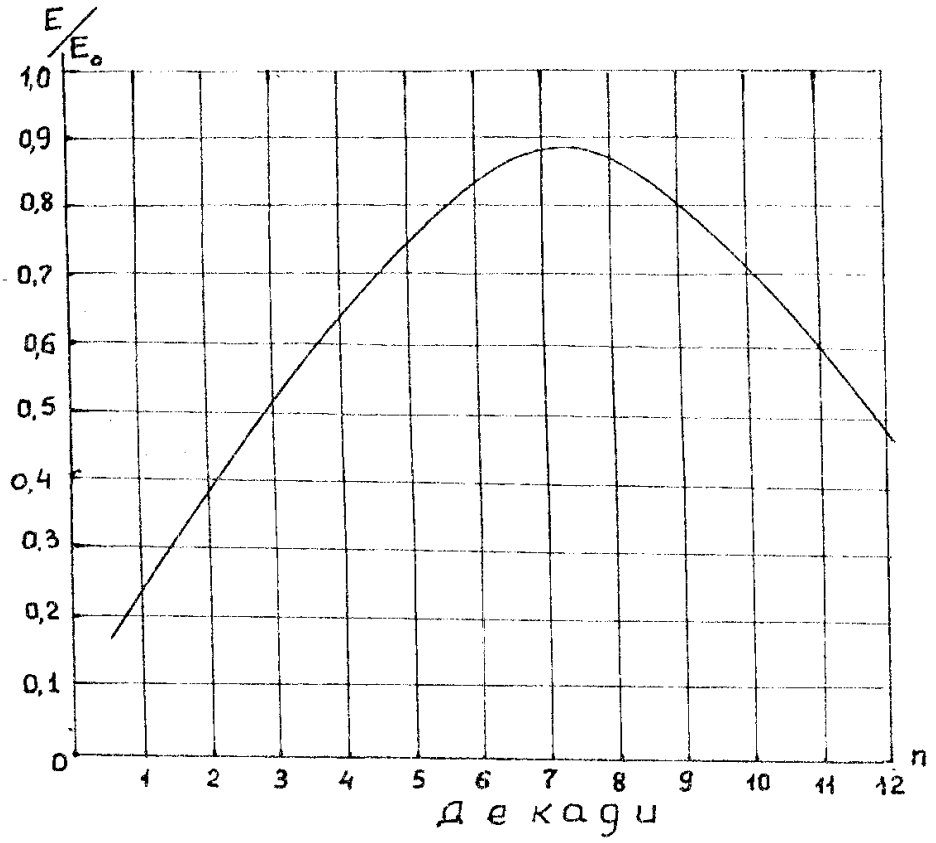


Рис.3.15 – **Біологічна крива випарування солодкого перцю.**

Якщо розрахунки проводяться для зрошуваних полів, то враховуються не тільки опади, а і поливи.

Вологозабезпеченість посівів визначається за формулою:

$$V = \frac{E}{E_o} \cdot 100\%, \qquad (3.54)$$

де E – сумарне випарування за декаду, місяць, мм;

E_o – вологопотреба культури (випарність), мм.

Приклад розрахунку у *табл.3.27*.

Крім цього методу існує ще декілька методів визначення вологозабезпеченості.

Метод С.О.Веріго. Метод засновано на аналізі запасів продуктивної вологи та їх впливі на стан ярих зернових культур. С.О.Веріго встановила, що зміна оцінок стану рослин знаходиться, головним чином, в залежності від запасів продуктивної вологи, тобто за зміною оцінок стану рослин можливо визначити їх вологозабезпеченість.

Міра вологозабезпеченості визначається в умовних балах – 1, 2, 3, 4, 5 згідно з періодами розвитку і типами грунтів (*рис.3.16*). Ці графіки використовуються для оцінки вологозабезпеченості як ярих зернових посівів, так і озимини.

Для визначення вологозабезпеченості в період від сівби до кущіння використовується *рис.3.16а*, на якому на осі абсцис відкладені середні за декаду запаси продуктивної вологи в одному шарі грунту, а на осі ординат - балові оцінки стану посівів. Балова оцінка стану посівів визначається як ордината в залежності від величини запасів продуктивної вологи з точністю до 0,1.

Для визначення вологозабезпеченості в період кущіння слід користуватись *рис.3.16б*. Якщо ордината, яка означає відповідні запаси вологи має знак мінус, то вона віднімається від балової оцінки сходів за будь-якого їх стану; якщо ж із знаком плюс – то вона додається до балової оцінки сходів лише у тому випадку, коли їх стан задовільний або поганий. Якщо ж стан сходів добрий та відмінний, то зберігається оцінка попередньої декади.

В період формування колосу і цвіту (вихід в трубку – колосіння) вологозабезпеченість посівів визначається з *рис.3.17*, на якому по осі ординат відкладені відношення балової оцінки стану рослин поточної декади до балової оцінки попередньої декади, а по осі абсцис – запаси продуктивної вологи метрового шару грунту.

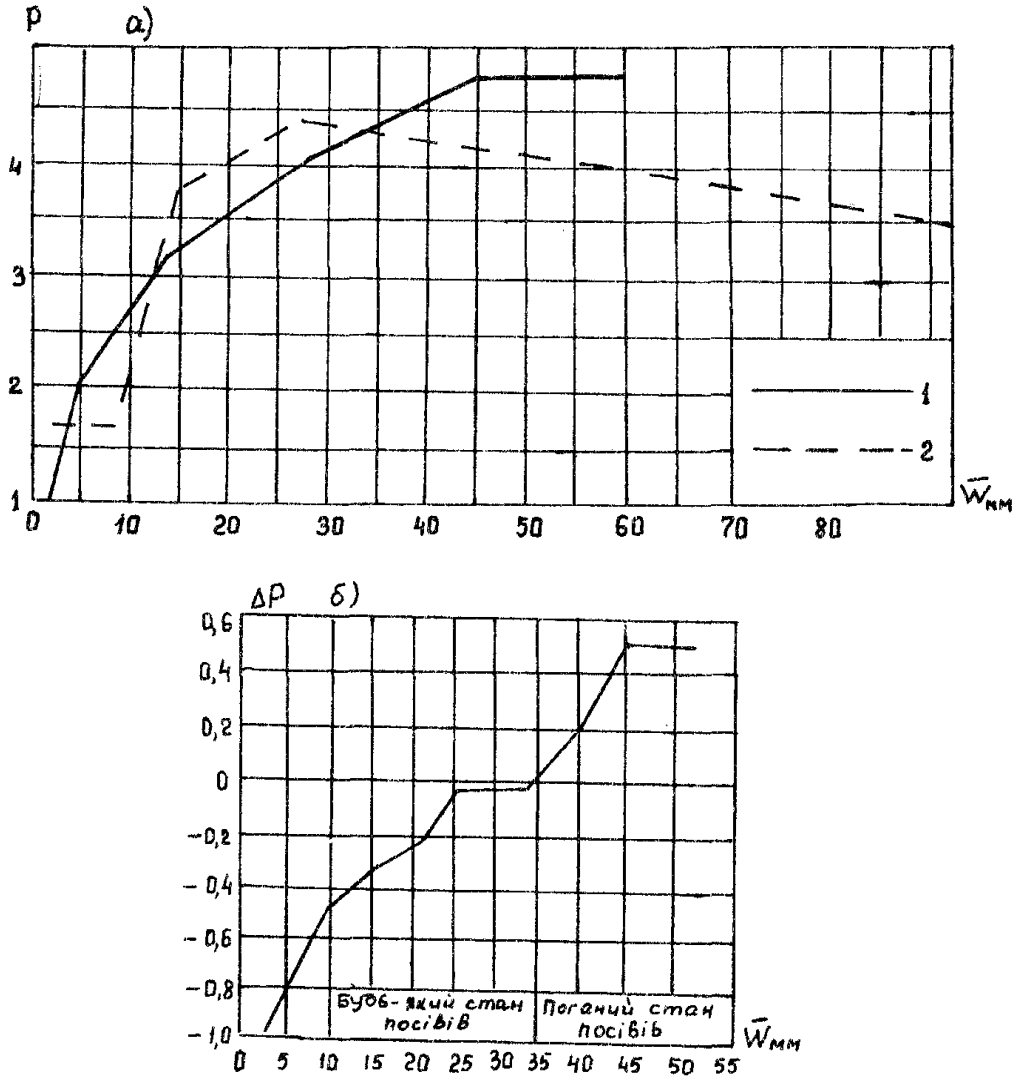


Рис.3.16 – **Оцінка вологозабезпеченості посівів (*P*) у балах за значеннями запасів вологи у орному шарі грунту ($\overline{W}$):**

а **– вологозабезпеченість сходів –1- чорноземна зона,** ***б*** **–дерново-підзолиста зона;** ***в*** **– зміна оцінок вологозабезпеченості (*P*) у період кущіння.**

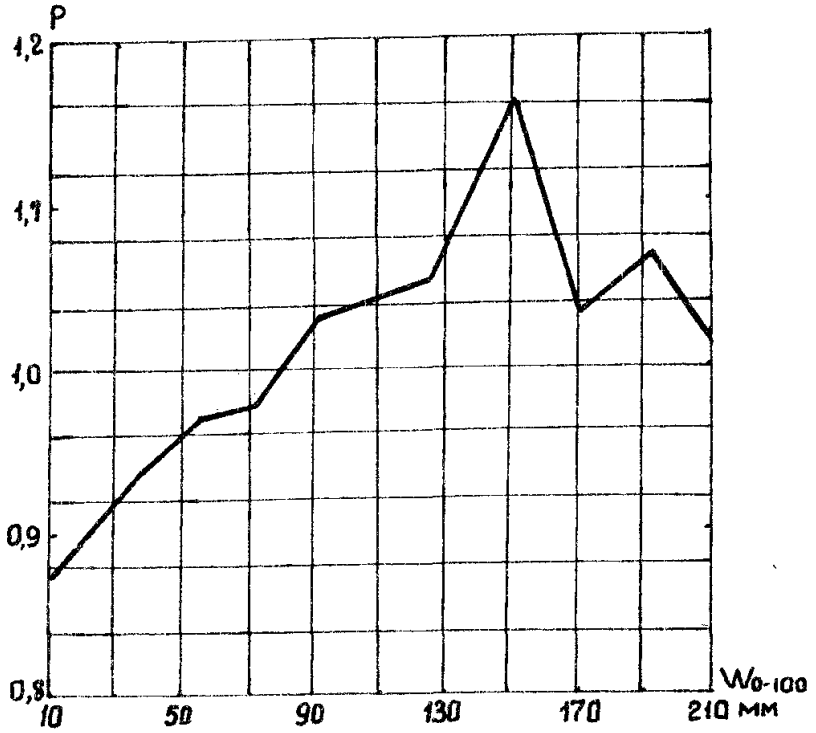


Рис.3.17 – **Оцінка вологозабезпеченості посівів (*P*) за запасами продуктивної вологи ($W_{0\text{-}100}$) у метровому шарі грунту після кущіння.**

Щоб одержати балову оцінку *P*, слід величину, отриману при підрахунку ординати, помножити на балову оцінку стану рослин в попередню декаду. Ордината відраховується з точністю до 0,01.

Таблиця 3.28 – **Приклад розрахунку оцінки вологозабезпеченості ярої пшениці**

ст. Червоноармійськ, Харківська обл.
Оцінка розрахована 31 травня

Найменування елементів	Значення елементів					
	фактичні			розраховані		
	травень			червень		
	1	2	3	1	2	3
Середня температура повітря, C^0	19	19	20	18	18	15
Сума опадів, мм	1	1	11	6	6	11
Запаси продуктивної вологи на кінець декади, мм у шарі						
0 - 20 см	31	23	18	16	14	16
0 - 100 см	120	102	93	62	38	24
Середні за період запаси продуктивної вологи у 0-100 см	–	111	98	77	50	31
Оцінка вологозабезпеченості у балах (*P*)	–	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5

Фази розвитку: Сівба – 30 квітня; сходи – 9 травня; вихід у трубку – 31 травня; колосіння – 25 червня.

Якщо вологозабезпеченість оцінюється за даними, які прогнозуються, то спочатку розраховуються очікувані величини температури, опадів і запасів продуктивної вологи, а потім – оцінка вологозабезпеченості у балах.

Оцінка вологозабезпеченності посівів у весняно-літній період розраховується двічі:

1) у період виходу посівів у трубку;
2) у період цвітіння зернових культур.

При складанні оцінок вологозабезпеченності після цвітіння хлібів використовується *рис.3.18(а,б)*.

Приклад розрахунку оцінки вологозабезпеченості у *табл.3.28*.

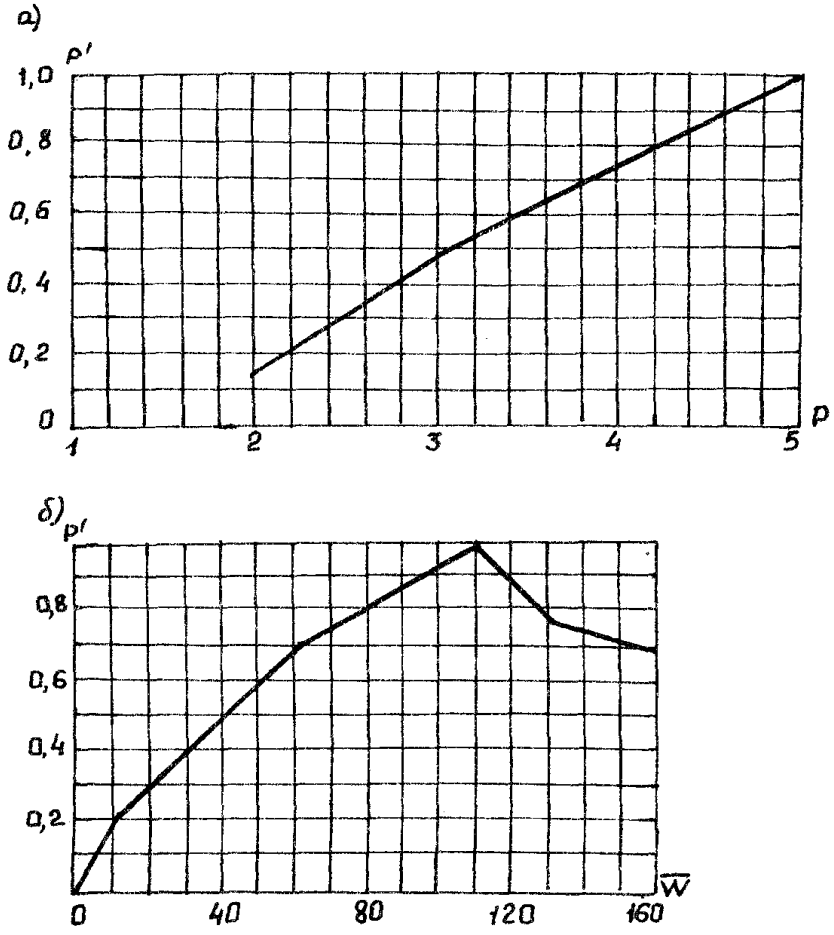


Рис.3.18 – **Співвідношення врожаїв при різних оцінках вологозабезпеченості (*P*):**

а **– у момент наступу воскової стиглості;** ***б*** **–у період від виходу в трубку до цвітіння.**

4 АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА НАЙВАЖЛИВІШІ ПРОЦЕСИ У ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН

У процесі розвитку в рослинах відбувається ціла низка зовнішніх змін: проростання насіння, поява сходів, ріст стебла, утворення репродуктивних органів і т.ін. На підставі багаторічних спостережень майже у всіх культурних рослин визначені фази розвитку – *фенологічні фази*. Кожна фенологічна фаза – це характеристика появи певних зовнішніх ознак або нових органів [10, 131]. 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. Ф.М.Куперман [27] установила 12 основних етапів органогенезу, загальних для багатьох видів рослин. 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*: освітлення, температура та вологість приземного шару повітря, вміст в ньому CO_2 та O_2;
– *грунтові*: температура, вологість, аерація грунту, фізико-механічні властивості, вміст гумусу, хімічний склад, окислювально-відновлювальні процеси;
– *біотичні*: густота популяції, фізіологічні та інші 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.

Для визначення впливу різних факторів на ріст та розвиток рослин проводяться агрометеорологічні спостереження.

4.1 Систематизація та узагальнення агрометеорологічної інформації

На мережі агрометеорологічних станцій (АМС) проводяться спостереження, обсяг яких визначається нормативними документами відповідно Департаменту гідрометеорології згідно з природно-кліматичними умовами розташування АМС.

Записи результатів агрометеорологічних спостережень у польових умовах виконують олівцем у книжках з індексом «КСГ» (книжка сільськогосподарська):

– КСГ-1 книжка для запису агрометеорологічних спостережень у вегетаційний період;
– КСГ-2 книжка для запису агрометеорологічних спостережень у зимовий період;
– КСГ-3 книжка для запису спостережень за вологістю грунту;
– КСГ-4 книжка для запису спостережень за випаровуванням.

Первинна обробка результатів агрометеорологічних спостережень та їх систематизація проводиться у таблицях з індексом «ТСГ» (таблиця сільськогосподарська). Наприклад, для розрахунку середнього проценту вологості грунту та запасів продуктивної вологи використовується таблиця ТСГ-7, для систематизації метеорологічних та агрометеорологічних спостережень – ТСГ-1 та інші. Кожна з цих таблиць складається за конкретний інтервал часу: декаду (ТСГ-1), місяць (ТСГ-7), рік (ТСГ-7,60).

Всі таблиці заповнюють після ретельної перевірки книжок для запису спостережень.

При заповненні таблиць дотримуються загальних правил:

а) за відсутності спостережень з будь-яких причин відповідні графи прокреслюються;

б) якщо спостереження проводились, але явище не спостерігалось, відповідна графа залишається вільною;

в) якщо не заповнялася ціла графа, треба пояснити причину відсутності даних.

Таблиці заповнюються акуратно, темним чорнилом. Після цього виконується їх технічний та первинний контроль.

Матеріали агрометеорологічних спостережень на станціях проходять первинну обробку.

До її задач входить доведення матеріалів спостережень до вигляду, який дозволить використовувати їх для оперативного агрометеорологічного обслуговування сільськогосподарських та керівних органів. А також для узагальнення при вивченні агрометеорологічного режиму того чи іншого району.

Технічний контроль на станції проводить начальник, інженер-агрометеоролог, старший технік, старший спостерігач. При проведенні технічного контролю перевіряють точність переносу результатів спостережень з книжок у таблицю, правильність розрахунків, повноту заповнення окремих розділів таблиць.

Первинний критичний контроль результатів агрометеорологічних спостережень проводять начальник станції або інженер-агрометеоролог згідно з існуючими порадниками по контролю та обробці агрометеорологічних спостережень.

Кожну таблицю підписують складач (технік-агрометеоролог або спостерігач), особа, яка виконувала технічний та критичний контроль та начальник станції.

Після складання таблиць необхідно зробити декілька їх копій та вислати в конкретні строки за адресами, які вказує Держкомгідромет.

Таблиця ТСГ-1 є основною формою систематизації паралельних метеорологічних та агрометеорологічних спостережень за декаду. ТСГ-1 складають на всіх станціях, де проводяться агрометеорологічні спостереження. Ця таблиця у всіх підрозділах гідрометеослужби є єдиним джерелом агрометеорологічної інформації, яка використовується в оперативній та науково-дослідній роботі, а також при складанні різних документів.

ТСГ-1 станції висилають 1, 11 та 21-го числа кожного місяця до Гідрометцентру або обласних бюро погоди. До організацій, які проводять перевірку та оцінку роботи станції, таблицю висилають у двох екземплярах. Після перевірки один екземпляр повертають на станцію із зауваженнями критичного контролю. Цей екземпляр зберігають у архіві станції.

Таблиця ТСГ-1 складається з двох сторінок. На першій сторінці розташовуються метеорологічні дані за декаду (за даними спостережень на метеомайданчику) та результати спостережень за вологістю грунту, його промерзанням та відтаненням, температурою грунту на полі, сніговим покривом та випаровуванням. На другій сторінці розташовуються результати спостережень за розвитком, станом та продуктивністю сільськогосподарських культур, дані інструментальних спостережень за вологістю грунту та опадами, а також відомості про сільськогосподарські роботи та результати снігомірної зйомки.

Таблицю ТСГ-1 заповнюють поступово: метеорологічну частину – кожного дня, агрометеорологічну – після обробки проведених спостережень.

Результати агрометеорологічних спостережень, які пройшли первинну обробку, терміново передаються до ГМБ або Гідрометцентрів у вигляді агрометеорологічних телеграм. Телеграми складаються за допомогою коду [28].

Складання метеорологічної частини таблиці ТСГ-1. Дані для цієї частини ТСГ-1 виписуються з відповідних граф ТМ-1, ТМ-3, ТМ-15, КМ-1. З книжки беруть тільки добові значення мінімальної температури повітря на висоті 3 см, мінімальної відносної вологості повітря, максимального дефіциту насичення повітря та хмарності у балах. Усе інше беруть з таблиць.

У ТСГ-1 в графах "за пентаду", "за декаду", "за місяць" розраховують середні значення елементів, за винятком опадів, тривалості сонячного сяйва та кількості годин з росою, для яких у цих графах вказують їх суму. Крім цього, виконуються вибірки за декаду. Графу "за місяць" заповнюють тільки наприкінці третьої декади.

"Максимальна температура на поверхні грунту" дається тільки у літній період при середній за декаду температурі повітря 15^0С та вище. "Мінімальна температура повітря на висоті 2 см" – у період можливих весняних та осінніх приморозків.

Під час розрахунку сум опадів за день використовують дані про них за строки спостереження 12, 15, 18 та 21 год. Вночі – строки 0, 3, 6 та 9 год.

Атмосферні явища, крім міражу та полярного сяйва, виписуються із ТМ-1 з указанням інтенсивності та строків їх початку і кінця. Якщо у ТСГ-1 не вистачає місця для усіх явищ, що спостерігались, записують найбільш важливі для сільського господарства. Якщо явище спостерігалось протягом довгого часу, але з частими перервами, в ТСГ-1 записи можна скоротити.

Усі інші графи цієї частини ТСГ-1 заповнюють згідно з їх назвами.

Складання агрометеорологічної частини таблиці ТСГ-1. Агрометеорологічна частина таблиці ТСГ-1 містить декілька розділів. У таблиці вказують не тільки культуру, за якою проводять агрометеорологічні спостереження, але й дату сівби, попередник, номер спостережної ділянки, дату конкретного спостереження та вид приладу (у випадку інструментального спостереження). Основну інформацію для складання агрометеорологічної частини ТСГ-1 беруть з КСГ-1, КСГ-1а, ТСГ-6, ТСГ-7 та ін.

У цій частині ТСГ-1 розташовують середні з повторностей значення агрометеорологічних спостережень, за винятком глибини промерзання та відтанення грунту по мерзлотоміру. Ці дані дають окремо по кожній з двох повторностей.

При складанні ТСГ-1 необхідно звернути увагу на те, що в одних і тих же графах в залежності від сезону року можна розташувати дані різних видів спостережень. Наприклад, візуальна вологість верхніх шарів грунту, а також глибина та ступінь промерзання та відтанення грунту; температура грунту на глибині залягання вузла кущіння та грунтові кірки.

У графі 39 (стор.2) дають суму опадів по польовому дощоміру за період між датами визначення вологості грунту. Якщо ділянка розташована не далі ніж за 2 км від метеомайданчика, а дощомір на сільськогосподарському полі не встановлено, то за період між визначеннями вологості грунту записують суму опадів, що вимірялися на метеомайданчику, та вказують про це у виносці. Якщо дощомір на полі не встановлено та ділянка розташована на відстані більше ніж 2 км від метеорологічного майданчика, графу прокреслюють.

Розділ "Глибина промочування грунту" (стор.1) заповнюють тільки станції районів відгінного тваринництва та станції, які залучаються до виконання таких спостережень.

Під час заповнення граф 1-19 (стор.2) у першу чергу треба заносити дані спостережень на ділянках з культурами, на яких визначають інструментально вологість грунту, оскільки значення останньої записують на продовженні рядка з інформацією про стан сільськогосподарської культури.

У розділі "Фази розвитку" записують початок ("а") та масове настання ("б") усіх фаз, що спостерігалися протягом декади, для якої складається таблиця, з указанням % та дати настання (тільки число). Якщо у даній декаді нової фази або її масового настання не спостерігалося, то через усі графи цього розділу пишуть "Нової фази немає", але у КСГ-1 продовжують підраховувати та фіксувати процент рослин, які знаходяться у цій фазі (до 75%). Для кожної з фаз відводять окремий рядок. Назва культури при цьому не повторюється.

Нижня половина другої сторінки відводиться для епізодичних спостережень за станом культури та її продуктивністю як у вегетаційний, так і у холодний період. Сюди записують вид спостереження, показник, який вимірювався, та його величину.

У текстовій частині описують незвичайні для даного району та періоду року метеорологічні явища та агрометеорологічні умови зростання сільськогосподарських рослин, а також умови проведення польових сільськогосподарських робіт та випасу худоби. Особливу увагу треба звернути на описання умов, небезпечних для сільського господарства.

Заповнення інших розділів таблиці не потребує будь-яких пояснень.

4.2 Обробка спостережень за фазами розвитку сільськогосподарських культур

Рослина протягом свого життя постійно змінюється як кількісно, так і якісно. Якісні зміни виникають у клітинах рослинного організму та зовні протікають непомітно. Про них роблять висновок лише по кількісних змінах, які характеризуються утворенням нових органів та накопиченням органічної маси. Зовнішні морфологічні зміни, які пов′язані з процесом розвитку сільськогосподарських культур (диких рослин), називають фазами розвитку.

4.2.1 Основи спостережень за фазами розвитку сільськогосподарських культур

Спостереження за фазами розвитку проводяться під час агрометеорологічного огляду ділянок , який виконується у другій половині кожного парного дня. Їх відносять до фенологічних та проводять під час огляду 40 рослин (по 10 у чотирьох частинах спостережного майданчика). Результати спостережень виражаються у процентах. Процент рослин, що вступили у дану фазу, розраховується за формулою:

$$П = \frac{N \cdot 100}{40} = 2{,}5N\,, \qquad (4.1)$$

де N – кількість рослин, що вступили у дану фазу;

40 – кількість оглянутих рослин.

У зв′язку з тим, що рослини на одній ділянці у ту чи іншу фазу вступають неодночасно, відмічають початок та масове настання фази. За початок фази (а) приймають день, коли фаза наступила не менш ніж у 10% рослин, за масовий показник (б) – день, коли у фазу вступило не менше 50% рослин. Після реєстрації фази у 75% (чи більше) рослин спостереження припиняють та розрахунки поновлюють з початком нової фази.

Результати спостережень записують у книжку КСГ-1 у відповідні графи.

Обробка фенологічних спостережень за умов однорідності ряду передбачає розрахунок за конкретний період часу середніх та екстремальних значень дат настання фаз розвитку та тривалості міжфазних періодів, розрахунок імовірності та мінливості цих характеристик, побудування фенологічних карт та ін.

4.2.2 Визначення середніх та екстремальних значень дат настання фаз розвитку

Обробку спостережень за фазами розвитку та іншими агрометеорологічними показниками виконують у *табл.4.1*. За весь ряд спостережень *m* виписують дати настання фаз, що спостерігаються, *Д*. Середні значення дат $\overline{Д}$ розраховуються як середні арифметичні

$$\overline{Д} = (Д_1 + Д_2 + \ldots + Д_m) / m, \qquad (4.2)$$

де $Д_1, Д_2, \ldots Д_m$ – дати конкретного року;
m – кількість років.

Таблиця 4.1 – **Агрометеорологічні показники умов вирощування озимої пшениці у період від виходу в трубку до колосіння**

Рік	Дата настання фази		Тривалість періоду (дні)	Сума температур повітря >5^{0}С		Середня температура за період, ^{0}С	Сума опадів за період, мм
	вихід у трубку	колосіння		активних	ефективних		
1966 1967 . . . 1984 1985							
Середні Найбільші Найменші							

Якщо дати настання фаз розвитку припадають на різні місяці, середню дату обчислюють по кількості днів від початку самого раннього місяця до дати настання фази конкретного року. Для визначення *Д*

отримане з цих чисел середнє значення додають до початку раннього місяця. Розрахунок проводять до десятих часток та округляють до цілих.

Наприклад: протягом п′яти років сходи кукурудзи з′являлися 6.05, 28.04, 2.05, 22.04, 8.05. Найбільш ранній місяць – квітень. Сума буде дорівнювати 36 + 28 + 32 + 22 + 38 = 156. Середнє значення 31,2. Отже, середня дата сходів за ці 5 років – 1 травня.

Визначення максимальних та мінімальних значень агрометеорологічних показників проводять таким способом: вибирають з усього ряду спостережень найбільше та найменше їх значення і записують у *табл.4.1* під відповідним середнім з указанням року, коли спостерігалися екстремальні значення.

4.2.3 Розрахунок тривалості міжфазних періодів

Період між суміжними фазами розвитку, тобто період, протягом якого проходить процес утворення нових органів та конкретних морфологічних ознак, називають міжфазним періодом. В агрометеорологічній практиці міжфазні періоди формують по основних найважливіших фазах. Так, у ярої пшениці спостерігають такі фази: проростання насіння, сходи, третій лист, утворення вузлових коренів, кущіння, вихід у трубку, поява нижнього стеблового вузла соломини над поверхнею грунту, колосіння, цвітіння, молочна, воскова та повна стиглості. Для оцінки умов вирощування цієї культури вегетаційний період ділять на 4 частини, які умовно називають міжфазними періодами: сівба – сходи, сходи – вихід у трубку, вихід у трубку – цвітіння, цвітіння – молочна стиглість.

Тривалість міжфазного періоду n розраховують як різницю між датами настання фаз розвитку на початку $Д_н$ та у кінці $Д_к$ відповідного міжфазного періоду, тобто $n = Д_к - Д_н$.

Так, якщо у конкретному році сходи соняшника спостерігалися 18.04, а друга пара листя – 30.04, тривалість цього міжфазного періоду складає 12 днів. Середнє значення за m років розраховують як середнє арифметичне.

4.2.4 Розрахунок сум температур та опадів за міжфазний період

В агрометеорологічних дослідженнях часто використовують декадні дані спостережень. При цьому приймають, що температура кожного окремого дня декади однакова та дорівнює середньодекадній, а сума опадів протягом декади розподіляється рівномірно.

Під час розрахунків активних температур за міжфазний період трапляються два варіанти.

Перший варіант. Міжфазний період припадає на одну й ту ж декаду. У цьому випадку достатньо середньодекадну температуру помножити на кількість днів у періоді (після переходу температури через біологічний мінімум). Це і буде сума активних температур.

Другий варіант. Міжфазний період охоплює різні декади, до того ж не завжди повні. Тут, виходячи з прийнятого припущення про рівнозначність температури кожного окремого дня декади, підраховують суми температур окремо по кожній декаді, пропорційно кількості днів міжфазного періоду, який припадає на дану декаду. Складаючи суми по окремих декадах, отримують суму активних температур за міжфазний період.

Наприклад: вихід у трубку озимої пшениці спостерігали 16.05, колосіння – 4.06. Тож міжфазний період охоплює 4 дні другої декади травня, усю третю декаду травня (11 днів) та 4 дні першої декади червня. Середня температура цих декад складала відповідно 14,9, 15,6 та 7,8^{0}С. Сума активних температур за міжфазний період дорівнює (14,9 х 4) + (16,5 х 11) + (17,8 х 4) = 312,3^{0}С. Округляємо до цілих: 312^{0}С.

Для визначення сум ефективних температур необхідно спочатку від середньодекадної температури відняти величину біологічного мінімуму, а потім виконувати такі ж операції, що і для розрахунку сум активних температур.

Треба пам′ятати, що опади за декаду наводяться у вигляді суми, на відміну від температури, яка подається у середніх значеннях. Розраховуючи суми опадів за міжфазний період, спочатку визначаємо кількість опадів за один день декади. Вважається, що кожен день випадає однакова їх кількість. Потім підсумовуються щоденні значення за міжфазний період. Якщо початок та кінець міжфазного періоду припадають на різні декади, розрахунки проводять по кожній декаді окремо, а потім усі суми поєднують.

Наприклад: суми опадів за декади, які ми розглядали вище, розподіляються таким чином: 16, 18 та 20 мм. Сума за міжфазний період (з 16.05 по 4.06) розраховується як (16 : 10 х 4) + (18) + (20 : 10 х 4) =32 мм (у цілих одиницях).

Для оцінки часової мінливості таких елементів як тривалість періодів, суми активних та ефективних температур та суми опадів, розраховуються середні квадратичні відхилення δ_x та коефіцієнти варіації C_v цих значень за формулами:

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (4.3)$$

$$C_v = \frac{\delta_x}{\bar{x}}, \quad (4.4)$$

де $\bar{x}$ – середнє значення елемента;

n – довжина ряду.

4.2.5 Розрахунок середньої температури повітря за міжфазний період та залежності тривалості періоду від середньої температури

Фази розвитку сільськогосподарських культур є реперними датами вегетаційного періоду. Порівняння дат настання фаз розвитку рослин з погодними умовами протягом декількох років дозволяє говорити не тільки про ступінь відповідності агрометеорологічних умов вимогам культури, але і про темпи розвитку її у тій чи іншій природній зоні.

Встановлено, що тривалість міжфазних періодів та строки настання фаз розвитку рослин залежать від температури: чим вище температура, тим швидше проходить розвиток рослин, скорочуються міжфазні періоди. Зв′язок тривалості міжфазного періоду n з температурою зовнішнього середовища розраховується за формулою:

$$n = A / t - B, \quad (4.5)$$

де A – сума ефективних температур, яка необхідна для проходження міжфазного періоду рослини, ^{0}С;

t – середня температура повітря за міжфазний період, яка розраховується як відношення суми позитивних температур до тривалості періоду, ^{0}С;

B –нижній термічний поріг розвитку сільськогосподарської культури (біологічний мінімум) у даний міжфазний період, ^{0}С.

Згідно з [29] при достатньому зволоженні грунту графічний зв′язок $n = f(t)$ має вигляд гіперболічної або степеневої кривої та є зворотним. Такі графіки дозволяють встановити оптимальну температуру, яка забезпечує найшвидшу появу відповідної фази. Аналітично зв′язок виражається формулою:

$$n = b / t^{a}, \qquad (4.6)$$

де a та b – параметри рівняння, визначаються статистично.

Для розрахунку параметрів цього рівняння необхідно привести його до лінійного вигляду. Прологарифмуємо це рівняння та отримаємо $\lg n = -a\lg t + \lg b$. Позначимо $\lg n = y$, $\lg t = x$, $\lg b = B$, $y = -ax + B$ – рівняння прямої для зворотного зв′язку.

Якщо ми будемо брати не самі значення t та n, а їх логарифми, та наносити значення цих логарифмів на графік, то точки будуть розташовуватися у вигляді прямої лінії, для якої ми повинні знайти рівняння зв′язку.

Також проводиться розрахунок параметрів рівняння регресії через коефіцієнт кореляції r та середні квадратичні відхилення δ_t та δ_n за рівняннями:

$$\bar{n} = \frac{\sum n}{m}; \qquad \bar{t} = \frac{\sum t}{m}; \qquad \bar{n} = 14{,}0; \quad \bar{t} = 12{,}9,$$

$$n - \bar{n} = R(t - \bar{t}),$$

$$n = R(t - \bar{t}) + \bar{n},$$

$$r = \frac{\sum (t - \bar{t})(n - \bar{n})}{\sqrt{\sum (t - \bar{t})^2 \cdot \sum (n - \bar{n})^2}} = \frac{\sum \Delta t \cdot \Delta h}{\sqrt{\sum \Delta t^2 \cdot \sum \Delta n^2}}, \qquad (4.7)$$

$$R = r\frac{\delta_{n_1}}{\delta_{t_1}}, \qquad (4.8)$$

де R – коефіцієнт регресії;

r – коефіцієнт кореляції.

Для побудови графіка (*рис.4.1*) та розрахунку параметрів рівняння використовується *табл.4.2*, в яку під одним порядковим номером вноситься середня температура повітря за період сівба-сходи (t) та тривалість цього періоду в днях (n). Потім визначаються логарифми за допомогою таблиць або ж мікрокалькуляторів. Після цього обраховуються суми значень $t = \lg t$ та $n = \lg n$ і обчислюються середні арифметичні значення $\bar{t}$ та $\bar{n}$. Знаходяться відхилення кожного t та n від середньої величини, квадрати добутих відхилень та розраховуються суми цих величин.

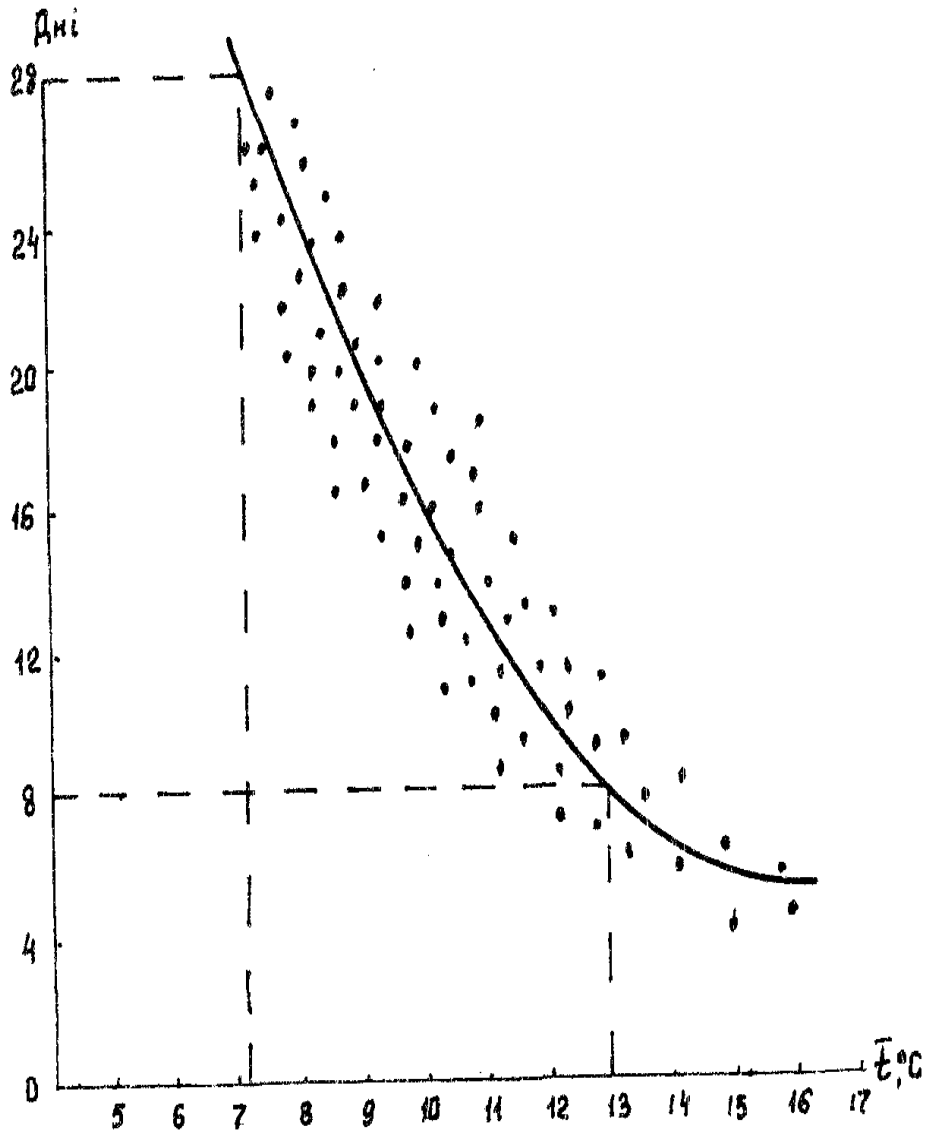


Рис.4.1 – **Залежність тривалості періоду (*n*) сходи-кущіння від середньої температури повітря (t^0C).**

Таблиця 4.2 – **Розрахунок зв′язку тривалості міжфазного періоду (*n*) з середньою температурою повітря**

№п.п	t	n	lg t=t_1	lg n=n_1	$\Delta t_1 = t_1 - \bar{t}_1$	$\Delta n_1 = n_1 - \bar{n}_1$	Δt_1^2	Δn_1^2	$(t_1 - \bar{t}_1)$ x $(n_1 - \bar{n}_1)$	$(t_1 - \bar{t}_1) + (n_1 - \bar{n}_1)$	$[(t_1 - \bar{t}_1) + (n_1 - \bar{n}_1)]^2$
1	7,6	28	0,8808	1,4472	-0,1122	0,2552	0,0126	0,0651	-0,0286	0,1430	0,0204
2	7,7	26	0,8865	1,4150	-0,1065	0,2230	0,0113	0,0497	-0,0237	0,1165	0,0136
3	7,0	25	0,8451	1,3979	-0,1479	0,2059	0,0219	0,0424	-0,0304	0,0580	0,0034
4	7,4	25	0,8692	1,3979	-0,1238	0,2059	0,0153	0,0424	-0,0255	0,0821	0,0067
5	7,2	24	0,8573	1,3802	-0,1357	0,1882	0,0184	0,0354	-0,0255	0,0525	0,0027
6	7,7	24	0,8865	1,3802	-0,1065	0,1882	0,0113	0,0354	-0,0200	0,0817	0,0067
7	7,3	23	0,8633	1,3617	-0,1297	0,1697	0,0168	0,0288	-0,0220	0,0400	0,0016
8	7,7	23	0,8865	1,3617	-0,1065	0,1697	0,0113	0,0288	-0,0181	0,0632	0,0040
9	7,7	22	0,8865	1,3424	-0,1065	0,1504	0,0113	0,0226	-0,0160	0,0439	0,0019
10	7,2	22	0,8573	1,3424	-0,1357	0,1504	0,0184	0,0226	-0,0204	0,0147	0,0002
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
56	12,1	11	1,0828	1,0414	0,0898	-0,1506	0,0081	0,0227	-0,0608	-0,0608	0,0037
57	13,0	10	1,1139	1,0000	0,1209	-0,1920	0,0146	0,0369	-0,0711	-0,0711	0,0050
58	13,0	9	1,1139	0,9542	0,1209	-0,2378	0,0146	0,0565	-0,1169	-0,1169	0,0136
59	12,9	8	1,1106	0,9031	0,1176	-0,2889	0,0138	0,0835	-0,1713	-0,1713	0,0293
60	13,3	8	1,1239	0,9031	0,1309	-0,2889	0,0171	0,0835	-0,1580	-0,1580	0,0250
61	14,0	10	1,1461	1,0000	0,1531	-0,1920	0,0234	0,0369	-0,0389	-0,0389	0,0015
62	13,9	7	1,1430	0,8451	0,1500	-0,3469	0,0225	0,1203	-0,1969	-0,1969	0,0388
63	15,0	10	1,1761	1,0000	0,1831	-0,1920	0,0335	0,0369	-0,0089	-0,0089	0,0000
64	15,0	8	1,1761	0,9031	0,1831	-0,2889	0,0335	0,0835	-0,1058	-0,1058	0,0112
65	16,1	8	1,2068	0,9031	0,2138	-0,2889	0,0457	0,0835	-0,0751	-0,0751	0,0056
66	17,0	8	1,2304	0,9031	0,2374	-0,2889	0,0564	0,0835	-0,0515	-0,0515	0,0026
Σ66	12,9	14	65,5351	78,6721	-	-	0,5661	1,6443	-0,9001	-	0,4102

Приклад розрахунку наводиться у *табл.4.2*.

Після виконання розрахунків у *табл.4.2* підставляються відповідні значення у формули (*4.6-4.9*), тоді:

$r = 0{,}86$;

$\sigma_r = \pm 0{,}026$; $\sigma_t = 4{,}5$;

$\sigma_n = 6{,}9$; $R = 0{,}24$;

$n = 0{,}24t - 12{,}9 + 14$;

$n = 0{,}24t + 1{,}1$

4.3 Визначення дат стійкого переходу температури повітря через різні пороги і підрахунок сум активних і ефективних температур

4.3.1 Визначення дат стійкого переходу через різні пороги

Ріст і розвиток сільськогосподарських культур, фізіологічні процеси в них протікають тільки при певній температурі. Для завершення будь-якого міжфазного періоду і всього періоду вегетації в цілому рослинам необхідна певна кількість тепла, тобто визначена сума температур.

Розв′язання багатьох питань, як то: вибір культур, сортів, визначення найсприятливіших термінів сівби, розробка агротехнічних засобів залежить від термічних умов, які визначені в сумах температур.

Суми температур широко використовуються у практиці оперативного агрометеорологічного обслуговування сільськогосподарських організацій при агрометеорологічній оцінці умов вирощування та прогнозуванні очікуваних строків настання фаз розвитку сільськогосподарських культур. В агрокліматології – для оцінки термічних ресурсів територій.

В агрометеорології потреби рослин у теплі визначають у сумах активних і ефективних температур. Під активними температурами розуміють всі температури вище біологічного мінімуму ($\Sigma t_{акт}$). Біологічний мінімум (біологічний нуль), *B* – це температура повітря або грунту, яка є термічним порогом початку життєдіяльності сільськогосподарських культур. Величина біологічного мінімуму різна для різних рослин і в різних кліматичних зонах. Для середньої полоси Європейської частини СНД величина біологічного мінімуму для більшості холодостійких рослин становить 5°С .

Ефективні температури ($\Sigma t_{еф}$) – це значення активних температур, зменшених на величину біологічного мінімуму.

$$t_{еф.} = t_{акт} - B, \qquad (4.9)$$

де $t_{акт}$ – середньодобова температура повітря, °С;

B – біологічний мінімум, °С.

При підрахунках сум температур, а також розв′язанні багатьох інших агрометеорологічних питань, пов’язаних з вивченням впливу термічного фактору на об’єкти і процеси сільськогосподарського виробництва, виникає необхідність визначення дат стійкого переходу температури повітря або грунту через деякі певні пороги. Так, дата стійкого переходу температури повітря через 0°С навесні означає кінець зими, початок сніготанення і розмерзання грунту. Перехід температури через 5°С весною свідчить про відновлення вегетації озимих культур і більшості дерев, про можливі терміни сівби ярих культур; переходи температур відповідно через 10 і 15°С є показниками початку вегетації та можливої сівби пізніх теплолюбних культур.

Перехід температури через той чи інший поріг дозволяє визначити тривалість періодів з температурою вище будь-якого порогу, тривалість вегетації сільськогосподарських рослин.

В агрометеорології існує декілька методів визначення дат стійкого переходу температури повітря через певні пороги.

Дату стійкого переходу визначають за даними середньодобових значень температури повітря. Це метод «залишків», який розроблено О.В. Федоровим та Г.З. Венцкевичем [30]. За даними середньодобової температури повітря виявляють періоди з позитивними і негативними відхилами температури від того чи іншого порогу. Якщо температура нижче зазначеного порогу - відхил негативний, якщо вище - позитивний.

Наприклад: Температура повітря 4,8°С по відношенню до порогу 0,0°С має позитивний відхил, який становить 4,8°С . Температура -0,8°С по відношенню до того ж порогу має негативне відхилення у 0,8°С .

Температура 7,2°С по відношенню до порогу 5°С має позитивний відхил 2,2°С ; температура 3,1°С по відношенню до того ж порогу має негативний відхил у 1,9°С .

Визначення дат стійкого переходу через різні пороги проводять за допомогою допоміжних таблиць (*табл.4.3*). Для цього усі середньодобові значення температури заносять у таблицю. Знаходять перший період з позитивним відхиленням температури, підсумовують позитивні відхилення температури за період. За періодом з позитивним відхиленням йде пері-

од з негативним відхиленням температури, по якому також підраховується сума відхилень. Якщо позитивні відхилення перевищують негативні відхилення, то дата першого значення температури з позитивним відхиленням приймається за дату стійкого переходу через означений поріг. Якщо ж ні, то відхилення визначаються у наступний позитивний період. Приклад наводиться у *табл.4.3*.

Таблиця 4.3 – **Приклад визначення дати стійкого переходу температури повітря через 5 °С**

Дата переходу		Сума позитивних температур	Сума негативних температур
початок	кінець		
12.III	14.III	2.2	-
15.III	16.III	-	4.1
17.III	21.III	9.9	-
22.III	-	-	0.2
23.III	-	0.3	-
24.III	4.IV	-	13.1
5.IV	7.IV	18.4	-
8.IV	17.IV	-	5.2
17.IV	-	-	-

У цьому прикладі дата стійкого переходу температури повітря через 5°С навесні – 5 квітня. Таким чином, за дату стійкого переходу температури повітря через різні пороги навесні приймається перший день періоду, сума позитивних відхилень якого перевищує суму негативних відхилень будь-якого із наступних періодів.

За дату стійкого переходу через різні пороги восени приймається перший день періоду, сума негативних відхилень якого перевищує суму позитивних відхилень будь-якого із наступних періодів.

Дати стійкого переходу температури повітря в окремі роки можуть визначатись за даними про середньодекадну і середньомісячну температури повітря. Інформація про середньодекадну температуру повітря в агрометеорологічному обслуговуванні найбільш оперативна. Вона наводиться у таблиці ТСХ-1, в декадних агрометеорологічних телеграмах і бюлетенях та агрометеорологічних щорічниках.

Дату стійкого переходу температури повітря визначають по середній за декаду температурі повітря згідно з інтерполяційною формулою або графічно:

$$S = \frac{k-a}{b-a} d + 5, \qquad (4.10)$$

де S – кількість днів, яка дозволяє визначити дату переходу;

k – температура, дату стійкого переходу через яку необхідно визначити (поріг);

a – середньодекадна температура нижча ніж k ;

b – середньодекадна температура вища від k;

d – кількість днів у декаді.

За даними про середньодекадну температуру повітря вибирають дві суміжні декади, впродовж яких пройшов перехід температури через даний поріг: одна декада з температурою нижче даного порогу, інша - з температурою вище порогу. (Приклад представлено в *табл. 4.4*).

Таблиця 4.4 – **Середня за декаду температура повітря**

Місяць	березень			квітень			травень		
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура	0,8	3,8	4,2	6,7	8,0	9,3	10,2	11,0	13,4

Як видно з *табл.4.4* перехід температури повітря через 5°С спостерігався впродовж 3-ої декади березня і першої декади квітня. Підставляємо значення температур за ці декади у формулу (*4.10*):

$$S = \frac{5-4{,}2}{6{,}7-4{,}2} 11 + 5 = 9 \text{ днів}$$

Отримані в розрахунках 9 днів підраховуються від початку тієї декади, в якій температура була нижча за *k*, тобто від 20 березня. І таким чином отримуємо, що перехід температури повітря через 5°С у нашому прикладі 29 березня. (20.03 + 9 = 29.03).

Якщо перехід температури визначається восени, то отримана з формули кількість днів підраховується в зворотному напрямку від тієї декади, де температура нижче 5°С . (Приклад у *табл. 4.5*).

Таблиця 4.5 – **Середня за декаду температура повітря**

Місяць	жовтень			листопад			грудень		
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Температура	15,3	17,0	11,9	10,4	5,4	4,1	0,2	1,6	-1,9

$$S = \frac{5{,}0 - 4{,}1}{5{,}4 - 4{,}1} 10 + 5 = 12 \text{ днів}$$

30.XI - 12 = 18.XI. Тобто дата переходу температури повітря восени 18.XI.

При визначенні дат стійкого переходу температури повітря через той чи інший поріг за місячними даними використовується формула:

$$S = \frac{k - a}{b - a} d + 15, \qquad (4.11)$$

де S – кількість днів, яка дозволяє знайти дату переходу;

k – температура, дату стійкого переходу через яку відшукують;

a – середньомісячна температура нижча ніж k;

b – середньомісячна температура вища від k;

d – кількість днів місяця, в які температура була нижче ніж k.

Визначення дати переходу за даними про середню декадну і середню місячну температури графічним методом виконується так. На рисунку на осі абсцис відкладають дати, на осі ординат – середні декадні або середні місячні температури. Їх значення наносять на середину декади або місяця (*рис.4.2*). Потім на графіку відмічається температура двох декад, протягом яких пройшов перехід температури через даний поріг.

У прикладі це температура повітря у 1 і 2 декадах квітня 3,7 і 6,5°С. Отримані точки з’єднуються прямою лінією і шукана дата визначається з графіка, як це вказано на *рис 4.2*. У даному випадку ця дата буде 14 квітня – перехід через 5°С.

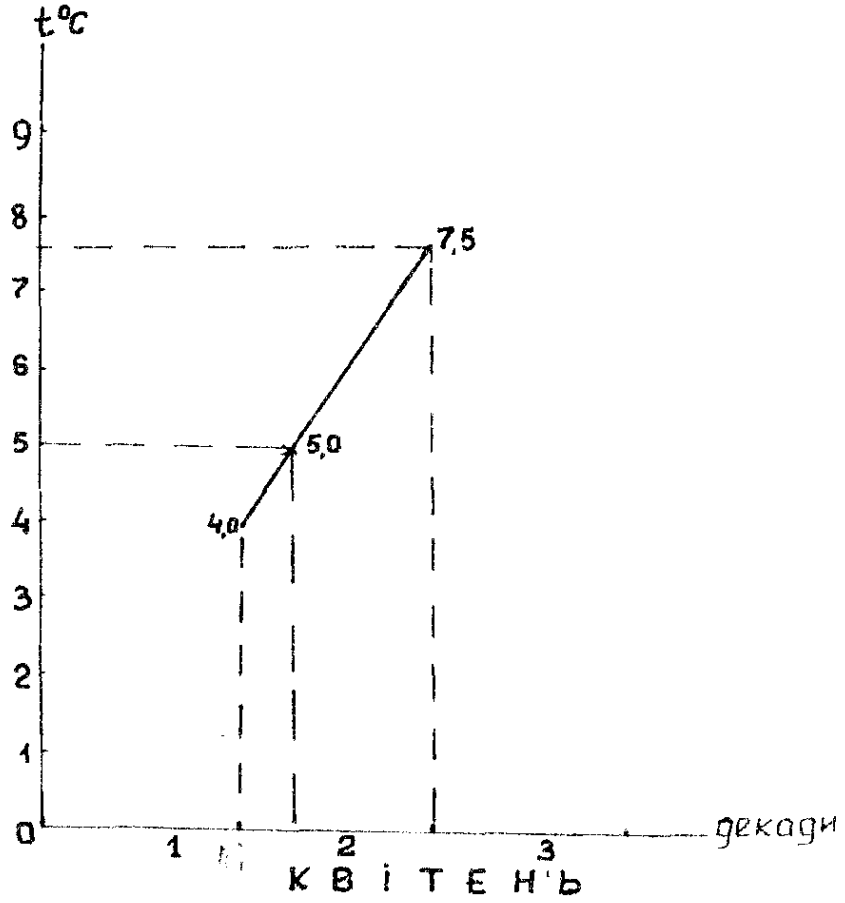


Рис.4.2 – **Визначення дат стійкого переходу температури повітря через 5^0С за значеннями середньої за декаду температури повітря.**

4.3.2 Визначення сум температур

Суми активних і ефективних температур за період вегетації або окремі міжфазні періоди розвитку сільськогосподарських культур, а також за періоди, обмежені датами переходу температури через будь-які пороги, визначаються за даними про середню добову, середню декадну і середню місячну температури повітря.

Якщо використовуються середні добові значення температури повітря, то підрахунок сум активних і ефективних температур ведеться наростаючим підсумком. При цьому, якщо середня за добу температура повітря нижче біологічного мінімуму температури розвитку рослин, то в суму вона не входить.

Нижче (*табл.4.6*) наводиться приклад підрахунку сум активних і ефективних температур вище 5°С за даними середньодобових температур.

Таблиця 4.6 – **Приклад підрахунку сум активних і ефективних температур вище 5°С за середньодобовими значеннями**

Метеорологічні фактори	Місяць, число									
	Березень									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Средньодобова температура	2,0	3,1	3,9	5,4	6,7	7,3	4,8	8,1	9,3	7,5
Сума активних температур	-	-	-	5,4	12,1	19,4	-	27,5	36,8	44,3
Ефективна температура	-	-	-	0,4	1,7	2,3	-	3,1	4,3	2,5
Сума ефективних температур	-	-	-	0,4	2,1	4,4	-	7,5	11,8	14,3

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

$$\sum t_{акт} = \bar{t} \cdot n, \qquad (4.12)$$

де $\bar{t}$ – активна середня добова температура за період,°С;

n – кількість днів у періоді.

Сума ефективних температур ($\sum t_{еф.}$) за цей же період підраховується:

$$\sum t_{еф.} = (\bar{t} - B) \cdot n, \qquad (4.13)$$

де B –біологічний мінімум, °С;

$\bar{t}$ – середня за період добова активна температура, °С.

Якщо, наприклад, визначається сума ефективних температур за декаду, то із середніх за декаду значень температури віднімається величина біологічного мінімуму і одержана різниця (ефективна температура) перемножується на кількість днів у декаді.

Приклад підрахунків сум активних і ефективних температур наводиться у *табл.4.7*.

Таблиця 4.7 – **Підрахунок сум активних і ефективних температур вище 5°С за середньодекадними значеннями**

№ п/п	Метеорологічні фактори	Місяць, декада								
		Березень			Квітень			Травень		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Середня за декаду температура, °С	0,8	3,8	5,7	6,7	8,0	9,3	10,2	11,0	13,4
2	Сума активних температур за декаду, °С	-	-	57	67	80	93	102	110	134
3	Сума активних температур наростаюча, °С	-	-	57	124	204	297	399	509	656
4	Ефективна температура, °С	-	-	0,7	1,7	3,0	4,3	5,2	6,0	8,4
5	Сума ефективних температур за декаду, °С	-	-	7	17	30	43	52	60	84
6	Сума ефективних температур наростаюча , °С	-	-	7	24	54	97	149	209	393

Суми температур, розраховані за кожну декаду (або місяць), накопичуються і таким чином отримують загальну суму активних або

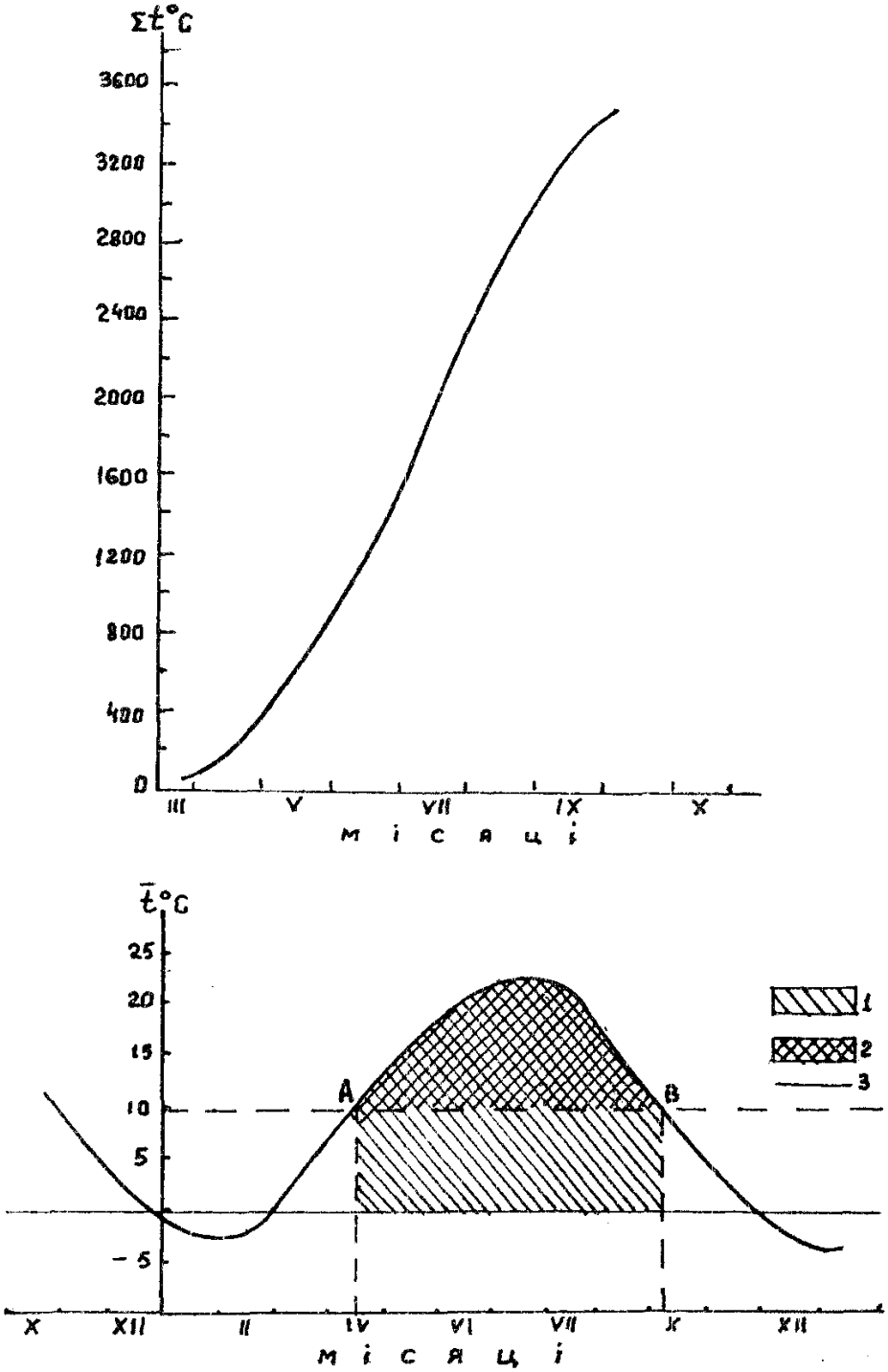


Рис.4.3 – **Суми температур зростаючим підсумком (*а*) і крива річного ходу (*б*) середньої за добу температури повітря, (ст.Одеса).**
Точки *А* та *В* – перехід температури повітря через 10^0С.
1 –суми активних температур вище 10^0С; 2 – суми ефективних температур вище 10^0С.

ефективних температур за означені періоди, які обмежені датами переходу температури через той чи інший поріг (5, 10, 15°С і т.ін.).

Наростання сум тепла краще представляти у вигляді графіків (*рис.4.3*). Техніка побудови графіка полягає в тому, що на осі абсцис відкладають дати, на осі ординат суми температур. На осі абсцис відмічається точка переходу температури через даний температурний поріг. Потім на рисунку на кінець декади (або місяця) наноситься сума температур, визначена для цієї декади. Далі, до суми температур за першу декаду додається сума за другу декаду і так далі.

Точки з'єднуються плавною лінією. Крива буде неодмінно підійматись уверх. А в декаді, коли температура була нижче вказаного порогу, вона йде паралельно осі абсцис, але ніколи не опускається.

Такі графіки (*рис.4.3а*) дозволяють визначити накопичення тепла на будь-яку дату; кількість тепла в межах визначених температур; дату накопичення тепла визначеної кількості; темпи розвитку весняних процесів.

Якщо нанести криві накопичення тепла за різні роки на один графік, то можна представити хід наростання тепла в різні роки для порівняльної характеристики.

Суму температур можна також визначити шляхом побудови графіка ходу середньомісячної температури за рік (*рис.4.3б*). У цьому випадку суми підраховуються через площу на графіку, обмежену точками переходу (А і В) через певний поріг (у данному разі – через 10°С).

При підрахунках сум температур навесні або восени необхідно враховувати добовий хід температури. Якщо ні в один із термінів спостережень температура повітря не була нижче біологічного мінімуму, то ефективна температура, визначена із середньої за добу, відображує безперервність розвитку рослин. Якщо ж температура бодай в один із термінів спостереження була нижче біологічного мінімуму, то отримане значення ефективної по середній добовій температурі за цю добу не буде відображати хід розвитку рослин. Відбувається зменшення сум ефективних температур. Помилка позначиться на якості агрометеорологічних характеристик. Особливого значення набуває врахування добового ходу температури в роки з холодною і пізньою весною, коли температура вночі та вранці тривалий час не підіймається до значень біологічного мінімуму. В *табл.4.8* наводиться приклад визначення ефективної температури за даними строкових спостережень.

Таблиця 4.8 – **Приклад визначення ефективної температури за даними термінових спостережень**

Терміни спостережень (години)	Температура повітря, °С	Ефективна температура ,°С
0 6 12 18	2,3 2,6 14,8 12,7	0 0 9,8 7,7
Сума	32,4	17,5
Середня за добу	8,1	-
Ефективна середня за добу	3,1	4,4

Як видно з прикладу, нестача сум ефективних температур за добу складає 13,1°С.

4.4 Визначення температурних показників швидкості та біологічного мінімуму розвитку сільськогосподарських культур

Визначення температурних показників. Тепло є одним із найважливіших факторів, які визначають швидкість розвитку рослин. Тому вивчення зв'язку між температурними умовами і темпами розвитку рослин сільськогосподарських культур представляє собою одну із задач агрометеорології.

Рослини починають вегетацію не одразу ж після встановлення позитивної температури повітря, а тільки при підвищенні її до певного рівня. При цьому культури північного походження починають розвиток при порівняно низьких температурах, а культури південного походження починають вегетацію при більш високих температурах.

Температура, при якій починається розвиток рослин, називається біологічним мінімумом. Кожна сільськогосподарська культура має свій біологічний мінімум розвитку, який змінюється відносно фаз розвитку культури.

З підвищенням температури повітря зверх біологічного мінімуму розвиток рослин прискорюється пропорційно зростанню температури, але до визначеного порогу. Температура, при якій спостерігаються найбільші темпи розвитку культури, є найсприятливішою температурою – температурний оптимум. У різних сільськогосподарських культур

значення температурного оптимуму різні, також вони різні у різні міжфазні періоди.

Температурні умови вище температурного оптимуму починають помітно пригнічувати рослини, швидкість розвитку зменшується. Подальше підвищення температури викликає пошкодження рослин, навіть загибель.

Таким чином, залежність швидкості розвитку сільськогосподарських культур від температури повітря буде криволінійною і може мати вираз:

$$y = \frac{A}{t^{в}}, \qquad (4.14)$$

де y – тривалість міжфазного періоду, дні;

A – сума ефективних температур, °С;

$в$ – показник ступеня;

t – середня за період температура повітря, °С.

Для оцінки відношення сільськогосподарських культур до температурних умов використовуються такі характеристики:

– крива ходу температури повітря за вегетаційний період (*рис.4.3а*);

– кардинальні температурні точки, тобто температурний мінімум, нижче якого рослини перестають рости і розвиватись; температурний максимум - вище якого рослина не може існувати, та діапазон оптимальної температури, що відповідає найбільшій продуктивності сільськогосподарських культур;

– загальна сума тепла, що представляє суму температур за окремі міжфазні періоди і за весь вегетаційний період.

За *характером температурної кривої* всі рослини діляться на 3 групи:

1) рослини тропічного походження, розвиток яких проходить в умовах рівного ходу температури на протязі всього вегетаційного періоду;
2) зимуючі рослини – дворічні і озимі культури, які восени розвиваються при зниженні температури, а після зимового покою – при підвищенні температури у весняно-літній період;
3) ярі однорічні культури, котрі починають вегетацію при порівняно низьких позитивних температурах, подальший розвиток їх проходить при підвищенні температури, а в період стиглості температура знову може зменшуватись.

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

1) мало вимогливі до тепла, що розпочинають вегетацію за температури близько 5°С;
2) помірно теплолюбні культури, вегетація яких починається при температурі у межах 10°С;
3) теплолюбні культури, розвиток яких починається при температурі в межах 15°С;
4) дуже теплолюбні, які починають розвиток при температурі у межах 20°С.

Загальна кількість тепла, яка необхідна для перебігу 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) (формула (*4.12*)).

Відрізняють суми активних і ефективних температур.

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

Підрахунок сум температур можна проводити за середньодобовими, середніми декадними і середніми місячними температурами повітря.

Середні багаторічні терміни весняних і осінніх переходів температури повітря через різні пороги, а також суми активних і ефективних температур в цих межах, визначаються з використанням графіка ходу середньої багаторічної температури повітря за теплий період року . Суми температур (*рис.4.3б*) характеризують загальну потребу у теплі різних сільськогосподарських культур як в окремі міжфазні періоди, так і в цілому за вегетацію.

Суми активних температур більш широко використовуються в агрокліматичних розрахунках для оцінки термічних ресурсів території та теплозабезпеченості сільськогосподарських культур. В агрометеорології для визначення темпів розвитку рослин використовуються суми ефективних температур, тому що ці суми піддаються значно меншому коливанню в часі і більш точно відображають потребу рослин у теплі.

Постійність сум ефективних температур дозволяє з певною завчасністю розраховувати очікувані дати настання різних фаз розвитку сільськогосподарських культур, тобто складати фенологічні прогнози. Для цього використовується рівняння:

$$n = \frac{A}{\bar{t} - B}, \qquad (4.15)$$

де n – тривалість періоду, дні;

A – сума ефективних температур за вказаний міжфазний період, °С;

B – біологічний мінімум температури в цей же період, °С;

$\bar{t}$ – середня температура повітря, °С.

Величини A і B називаються температурними показниками швидкості розвитку сільськогосподарських культур. Для багатьох культур вони визначені і широко використовуються у практиці агрометеорологічних розрахунків.

Але з введенням нових сортів, нових засобів агротехніки і зміною умов вирощування, значення температурних показників швидкості розвитку культур суттєво змінюються. В зв'язку з цим необхідно мати можливість розраховувати ці показники щодо конкретних умов.

В агрометеорологічній практиці використовуються такі методи розрахунків. Найчастіше застосовується метод, заснований на визначенні параметрів рівняння прямої.

$$y = B \cdot n + A, \tag{4.16}$$

де y – сума активних температур, ^{o}С;

B – біологічний мінімум розвитку, ^{o}С;

n – тривалість періоду, дн;

A – сума ефективних температур.

Практика використання сум температур в останній час показала, що суми температур змінюють свою постійність за окремі міжфазні періоди або вцілому за вегетацію. Головними причинами порушення постійності сум є фотоперіодична реакція рослин та біологічна нерівноцінність різних температур. В залежності від тривалості дня темпи розвитку сільськогосподарських культур збільшуються або зменшуються. В зв'язку з цим за визначений період розвитку вони задовольняються більшими або меншими сумами температур. Крім того, підвищення температури зверх визначеного рівня вже не прискорює, а навпаки, уповільнює розвиток рослин і приводить до збільшення загальної суми.

Температура, за якої не спостерігається прискорення розвитку рослин, називається баластною.

Дослідженнями підтверджено, що помилки в сумах температур також обумовлюються значеннями добової амплітуди температури повітря. При одній і тій же середній добовій температурі інтенсивність біохімічних процесів в рослині тим вище, чим більше добова амплітуда температури повітря. Тому одні й ті ж сільськогосподарські культури в континентальних районах задовольняються в розвитку дещо меншими сумами температур, ніж в районах з морським кліматом.

З вищевказаного витікає висновок, що для правильного підрахунку сум температур необхідно враховувати головні фактори, які викликають їх непостійність (тривалість дня, високі температури вдень і добовий хід температури повітря). Враховуються ці умови шляхом введення відповідних поправок на широту місця, баластні температури і континентальність клімату.

Правильне визначення сум температур забезпечує їм достатню стійкість, що дозволяє використовувати їх як надійний показник потреби сільськогосподарських культур у теплі і в окремі міжфазні періоди, і в цілому за вегетаційний період.

Визначення біологічного мінімуму і сум ефективних температур методом найменших квадратів. За даними спостережень і підрахунку сум активних температур будується графік (*рис.4.4*). Через точки проводиться осереднена пряма. Визначаються вимоги: сума квадратів вертикальних відхилень $\sum h^2$ усіх точок *m* від прямої повинна бути мінімальна. Для цього використовується необхідна умова мінімуму функції двох змінних, у даному випадку суми:

$$\sum h_i^2 = \sum (y_i - Bx_i - A)^2 \qquad (4.17)$$

або

$$y = B\,x^{\,i} + A \qquad (4.18)$$

Якщо прирівняти до нуля часткові прирости по *A* і *B* , то одержимо систему для визначення параметрів прямої:

$$\begin{cases} B\sum x_i + Am = \sum y_i \\ B\sum x_i^2 + A\sum x_i y_i \end{cases} \qquad (4.19)$$

Параметр *B* називається коефіцієнтом регресії. Він становить тангенс нахилу прямої (лінії регресії). Визначається за допомогою виразу:

$$B = \frac{m\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{m\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \qquad (4.20)$$

Параметр *A* називається вільним членом регресії. Він визначає місцезнаходження прямої на осі *y*, якщо *x*=0. Його визначають із першого рівняння системи (*4.19*) через знайдений *B*.

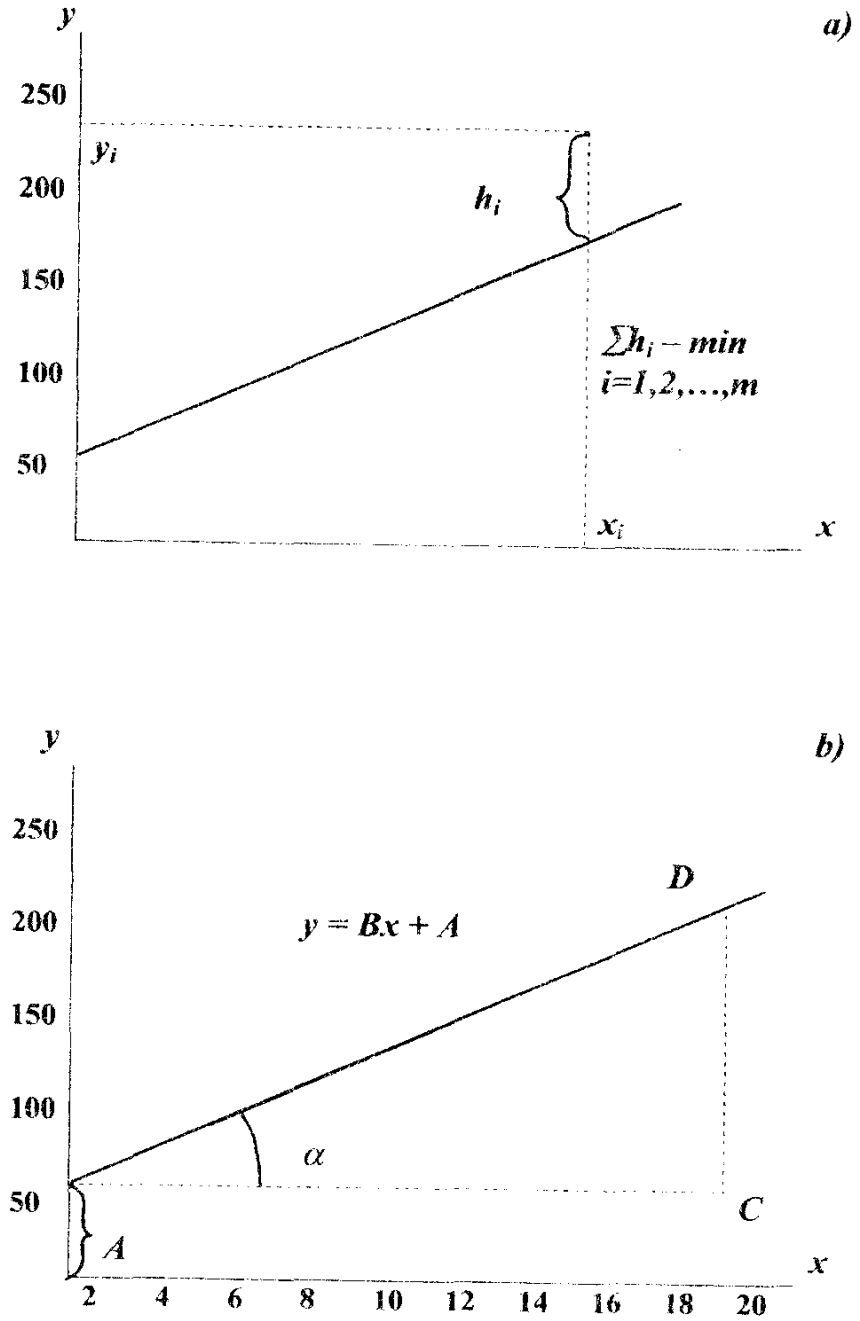


Рис.4.4 – **Залежність сум температур (*y*) від тривалості міжфазного періоду (*x*).**

Одержані формули повністю визначають лінійну регресію щодо заданої вибірки. Згадаємо, що у рівнянні (*4.18*) ($y = Bx + A$): y – сума позитивних температур за період; B – біологічний мінімум температури; x – тривалість міжфазного періоду у днях; A - сума ефективних температур за період, вище визначеного мінімуму.

Даними для визначення A і B є матеріали фенологічних спостережень і дані про температуру повітря за тривалий період (20-30 років).

Визначення A і B за допомогою коефіцієнта кореляції.

Коефіцієнт кореляції $r_{x,y}$ є показником тісноти лінійного зв'язку двох змінних величин x та y. Інакше кажучи, він є критерієм міри близькості кореляційного зв'язку до лінійної функціональної залежності.

Розраховується коефіцієнт кореляції зв'язку сум температур за міжфазний період (y) з тривалістю періоду (x) з формули:

$$r_{x,y} = \frac{\sum \Delta x_i \cdot \Delta y_i}{\sqrt{\sum \Delta x_i^2 \cdot \sum \Delta y_i^2}} \tag{4.21}$$

Після визначення $r_{x,y}$ і встановлення лінійного зв'язку визначаються параметри рівняння цього зв'язку. Загальний вигляд рівняння (*4.18*):

$$y = Bx_i + A$$

Коефіцієнт регресії рівняння лінійної регресії двох змінних:

$$B = r_{x,y} \frac{\sigma_{y_i}}{\sigma_{x_i}}, \tag{4.22}$$

де σ_{x_i} та σ_{y_i} – середньоквадратичні відхилення, знайдені по x та y, визначаються з виразів:

$$\sigma_{x_i} = \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{m-1}}; \quad \sigma_{y_i} = \sqrt{\frac{\sum \Delta y_i^2}{m-1}} \tag{4.23}$$

Значення параметра A дістанемо з рівняння:

$$A = \bar{y} - \bar{x} \cdot r_{x,y} \cdot \frac{\sigma_{y_i}}{\sigma_{x_i}} \tag{4.24}$$

Таким чином, визначивши середні арифметичні значення $\bar{x}$, $\bar{y}$, середньоквадратичні відхилення σ_{x_i} , σ_{y_i} і коефіцієнт кореляції $r_{x,y}$, знаходимо параметри рівняння *B* та *A*, які є відповідно біологічним мінімумом і сумою ефективних температур за період, вищою від визначеного мінімуму. Розрахунки доцільно виконувати у *табл.4.9*.

Таблиця 4.9 – **Розрахунок *A* і *B* через коефіцієнт кореляції**

№ п/п	$m(x_i)$	$\sum t(y_i)$	$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$	$\Delta y_i = y_i - \bar{y}$	Δx_i^2	Δy_i^2	$\Delta x_i \cdot \Delta y_i$
1 2 . .. m							
Сума	$\sum x_i$	$\sum y_i$	-	-	$\sum \Delta x_i^2$	$\sum \Delta y_i^2$	$\sum \Delta x_i \cdot \Delta y_i$
Середня	$\bar{x}$	$\bar{y}$	-	-	-	-	-

Визначення біологічного мінімуму варіаційно-статистичним методом. Кожна сільськогосподарська культура у відповідності з біологічними особливостями потребує певних сум ефективних температур для проходження різних міжфазних періодів. На цьому побудовано уточнення біологічного мінімуму з використанням коефіцієнта варіації сум ефективних температур – c_v. Коефіцієнт варіації є показником мінливості рядів, розкиду точок навколо середнього і розраховується з формули:

$$c_v = \frac{\sigma_{x_i}}{\bar{x}} \cdot 100\% \qquad (4.25)$$

Чим більше однорідний ряд, тим буде менше значення c_v. В однорідному ряду значення c_v не перевищує 5-10%.

Для визначення біологічного мінімуму культури за будь-який міжфазний період необхідно підрахувати суми ефективних температур від різних порогів, що визначаються з літератури (наприклад, 4, 5 ,6 ,7, 8°С). Для кожного ряду сум температур підраховується c_v. Ряд, якому відповідає найменше значення c_v, буде відповідати найбільш правильно визначеному біологічному мінімуму. Розрахунки доцільніше проводити у вигляді

табл.4.10. Цей метод було запропоновано О.В.Федоровим і в літературі він носить його ім'я.

Таблиця 4.10 – **Визначення коефіцієнта варіації c_v**

№ п/п	Рік	*m*	Сума ефективних температур, C^0				Δx	Δx	Δx	Δx
			>10°	>8°	>9°	>10°	7°	8°	9°	10°
Сума	-									
Середня	-									
c_v	-	-	-	-	-	-	c_v=	c_v=	c_v=	c_v=

Визначення параметрів А і В графічним методом (метод А.А.Шіголєва). На графік (*рис.4.4б*) наносять дані, які відповідають сумам позитивних середніх добових температур (вісь у) за вегетаційний період (*n*) кожного року за весь ряд спостережень.

Якщо на графіку точки показують наявність прямолінійного зв'язку, то візуально проводять пряму лінію, яка згладжує цю залежність. Точка перетину лінії регресії з віссю ординат буде відповідати вільному членові рівняння регресії $y = Bx + A$, тобто A.

Коефіцієнт рівняння регресії B (біологічний мінімум) визначають як тангенс кута нахилу прямої α:

$$B = \mathrm{tg}\,\alpha = \frac{\overline{DC}}{\overline{AC}}, \qquad (4.26)$$

де $\overline{DC}$ та $\overline{AC}$ – катети прямокутного трикутника, в якому $\overline{DC}$ – температура,°С, а $\overline{AC}$ – дні.

Крім того, B також можливо визначити із співвідношення, яке виходить з рівняння зв'язку суми температур за період з тривалістю періоду:

$$B = \frac{\sum t - A}{n}, \qquad (4.27)$$

де $\sum t$ – середня сума позитивних температур за період, ^{0}С;
A – сума ефективних температур, ^{0}С;
n – середня тривалість періоду, дн.

4.5 Розрахунок теплозабезпеченості вегетаційного періоду

Визрівання сільськогосподарських культур залежить від тепло- та вологозабезпеченості вегетаційного періоду. У районах достатнього зволоження – тільки від забезпеченості теплом. Особливо це стосується теплолюбних культур. Зараз існує метод розрахунку забезпеченності теплом періоду вегетації уже навесні.

4.5.1 Прогноз забезпеченості теплом вегетаційного періоду

Теоретичні положення щодо можливості складення прогнозу забезпеченості теплом вегетаційного періоду розроблені Ф.Ф.Давітая та мають за основу зв′язок між строком початку весни і загальною кількістю тепла влітку [51]. За початок весни умовно прийнята дата стійкого переходу температури повітря через 10^0С навесні. Чим раніше настає ця дата, тим більша сума температур накопичується за вегетаційний період, тобто за період між датами переходу температури повітря через 10^0С навесні і восени.

Характер залежності сум температур вище 10^0С від початку весняних процесів неоднаковий у різні відрізки вегетаційного періоду. У другій половині вегетаційного періоду зв′язок $\sum t > 10^0$С з індексом початку весни ще більш тісний, ніж у першій.

Крім того, Ф.Ф.Давітая також установив та обгрунтував залежність між початком весни та тривалістю вегетаційного періоду. Таким чином, розробки Ф.Ф.Давітая дають можливість за датами переходу температури повітря через 10^0С розраховувати:

– очікувану суму температур вище 10^0С за вегетаційний період;

– тривалість вегетаційного періоду.

Залежність сум температур за період від переходу температури повітря через 10^0С весною та восени у загальній формі має вигляд:

$$\sum t_{>10^0\mathrm{C}} = A - a_1 D, \qquad (4.28)$$

де A – вільний член рівняння;

a_1 – коефіцієнт при змінній;

D^* – дата переходу температури повітря через 10^0С (*– кількість днів від першого дня розглядуваного періоду, для України – 1 квітня)

У *табл.4.11* наведені значення коефіцієнтів A та a_1 з рівняння (*4.28*), які використовуються при обчисленні сум температур. В цій же таблиці

відмічено місяць, у якому спостерігається самий ранній перехід температури повітря через 10^0С весною.

Прогноз забезпеченості теплом вегетаційного періоду (Σt > 10^0С) складається відразу ж після стійкого переходу температури повітря через 10^0С навесні. Дата такого переходу визначається за середніми за добу або середніми за декаду температурами повітря графічним способом або за формулами (*4.10*) навесні та восени:

$$D = \frac{b-k}{b-a} d + 5, \qquad (4.29)$$

де D – шукана дата переходу температури повітря через 10^0С;
k – температура, дату переходу через яку необхідно визначити;
a – середня температура нижче k;
b – середня температура вище k;
d – кількість днів 1-ї декади.

Таблиця 4.11 – **Значення коефіцієнтів *A* та a_i з рівняння (*4.28*) та середньоквадратичні відхилення сум температур (σ)**

Станція	Самий ранній перехід температури повітря через 10^0С, місяць	A	a_1	±σ
Чернігів	квітень	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
Південно-Дністровськ	"-"	3310	-22,25	240
Умань	"-"	3270	-23,82	220
Полтава	"-"	3330	-21,71	240
Харків	"-"	3300	-22,06	250
Луганськ	"-"	3370	-17,91	220
Дніпропетровськ	"-"	3540	-18,65	230
Кіровоград	"-"	3300	-18,16	220
Запоріжжя	"-"	3630	-22,70	220
Херсон	"-"	3790	-18,01	240
Одеса	"-"	3740	-20,45	220
Кишинів	"-"	3700	-23,68	220

Наприклад: Визначити дату стійкого переходу температури повітря через 10^0С за середніми значеннями температури за декаду:

Місяць	квітень			травень		
Декада	1	2	3	1	2	3
Середня температура	7,4	9,2	9,3	11,8	10,9	14,3

Підставляються значення температури з 3-ої декади квітня та 1-ої травня у формулу (*4.10*)

$$S = \frac{10 - 9{,}3}{11{,}8 - 9{,}3} \text{x}10 + 5 = \frac{0{,}7}{2{,}5} \text{x}10 + 5 = 8 \text{ днів.}$$

Таким чином, дата переходу температури повітря через 10^0С – 28 квітня.
Дату переходу температури повітря через будь-яку межу можна визначити графічно (див. розділ *4.3.1*, *рис.4.2*)

Визначення дати переходу температури повітря через 10^0С графічно проводиться так. Вибираються дві декади з середньою температурою нижче 10^0С та вище 10^0С. Ці середні декадні значення наносяться на міліметровий папір, де на осі абсцис відкладаються дати, на осі ординат – середні за декаду температури повітря. Значення температур наносяться на середину декади. Отримані точки з′єднуються прямою лінією. Потім з осі ординат з точки із значенням температури 10^0С проводиться пряма, паралельна осі абсцис, до перетину з прямою у полі графіка. З точки перетину знімається дата переходу температури повітря через 10^0С.

Після визначення дати стійкого переходу температури повітря через 10^0С весною (тобто кількості днів від першого квітня до 28-го квітня) одержане значення D і відповідні значення A та a_1 даної гідрометстанції підставляються у рівняння (*4.28*) та розраховується сума температур вище 10^0С за вегетаційний період.

Наприклад: Скласти прогноз $\Sigma t > 10^0$С для ст.Чернігів. На цій станції у 1996р. середньодекадна температура повітря за третю декаду квітня становила $8{,}8^0$С, за першу травня – $13{,}3^0$С. Дату переходу температури повітря через 10^0С дістанемо з рівняння (*4.29*), вона буде 28-го квітня. Рівняння для розрахунку $\Sigma t > 10^0$С (*4.28*) з врахуванням коефіцієнтів A і a_1 (*табл.4.11*).

$$\Sigma t > 10^0\text{C} = 3390 - 25{,}43\text{D}$$

або

$$\Sigma t > 10^0C = 3390 - 25{,}43 \times 28 = 2678 \approx 2680^0C$$

Таким чином, очікувана сума температур у 1996 р. для станції Чернігів становила 2680^0С. Фактична сума температур складала 2510^0С.

4.5.2 Прогноз забезпеченості теплом другої половини вегетаційного періоду

Метод складання прогнозу забезпеченості теплом другої половини вегетаційного періоду (Σt > 10^0С через два місяці від дати переходу температури повітря через 10^0С весною до дати такого ж переходу восени) такий же, як і для складання прогнозу забезпеченності теплом за весь вегетаційний період.

Розрахунки також виконані за значеннями дати стійкого переходу температури повітря через 10^0С весною. Для цього обчислені значення коефіцієтів *А* та a_1 для ряду станцій (*табл 4.12*).

Таблиця 4.12 – **Значення коефіцієтів *А* та a_1 рівняння (*4.28*) для розрахунку $\Sigma t > 10^0$С за другу частину вегетаційного періоду та середньоквадратичне відхилення σ**

Станція	Самий ранній перехід температури через 10^0С весною, місяць	*А*	a_1	$\pm\sigma$
Чернігів	квітень	1790	-17,00	200
Харків	"-"	1640	-15,50	190
Дніпропетровськ	"-"	2100	-20,60	200
Суми	"-"	2450	-22,59	190
Запоріжжя	"-"	2530	-22,60	190
Кіїв	"-"	2330	-24,64	190
Одеса	"-"	2820	-22,73	190

Рівняння вигляду (*4.28*) для прогнозу Σt>10^0С можуть бути розраховані для будь-якої станції, яка має ряд спостережень не менше ніж 50 років. Рівняння розраховуються за допомогою методів математичної статистики.

4.5.3 Прогноз тривалості вегетаційного періоду

Основою методу прогнозу тривалості вегетаційного періоду є залежність тривалості періоду з температурою вище 10^0С (*n*, дні) від дати стійкого переходу температури повітря через 10^0С весною (*D*). У загальному вигляді рівняння таке:

$$n = c - bD \tag{4.30}$$

Для деяких гідрометстанцій значення коефіцієнтів *c* та *b* рівняння (*4.30*), які використовуються для прогнозу тривалості вегетаційного періоду з температурою вище 10^0С, наведені у *табл.4.13*.

Таблиця 4.13 – **Значення коефіцієтів *c* та *b* рівняння (*4.31*) для прогнозу тривалості періоду з температурою вище 10^0С, та σ – середньоквадратичного відхилення**

Станція	Самий ранній перехід температури через 10^0С весною, місяць	*c*	*b*	$\pm\sigma$
Чернігів	квітень	190	-1,14	10
Житомир	"-"	176	-1,05	9
Харків	"-"	179	-0,73	10
Умань	"-"	187	-1,03	10
Полтава	"-"	179	-0,71	10
Луганськ	"-"	182	-0,93	11
Кам′янець-Подільський	"-"	180	-0,82	9
Чернівці		195	-1,17	10
Херсон		185	-0,87	10

Прогноз складається навесні. Визначається дата переходу температури повітря через 10^0С (*D*). Потім це значення підставляється у рівняння (*4.30*) з відповідними для населеного пункту значеннями *c* та *b* (*табл.4.13*) і виконуються необхідні розрахунки.

Наприклад: На станції Чернігів стійкий перехід температури повітря через 10^0С спостерігається 28-го квітня. Самий раній перехід у Чернігові також спостерігається у квітні. Тому замість *D* у рівняння (*4.30*) підставляємо 28 і тоді

$$n = 190 - 1{,}14 \times 28 = 190 - 32 = 158$$

Таким чином, у Чернігові тривалість періоду з температурою вище 10^0С буде 158 днів.

Для розрахунку тривалості вегетаційного періоду деяких культур побудовані графіки (*рис.4.5* та *4.6*). За допомогою прогнозів тепло-забезпеченості вегетаційного періоду та його тривалості вирішується багато виробничих питань, а саме:

– розраховуються строки збирання культур;
– визначається міра дозрівання різних сортів кукурудзи (*табл.4.14*) та інших культур.

Таблиця 4.14 – **Суми температур, необхідні для настання окремих фаз розвитку кукурудзи**

Сорт	Суми температур за міжфазні періоди, ^{0}С		
	Сівба – викидання волоті	Сівба – молочна стиглість	Сівба – господарська стиглість
Дуже ранні: Білояре пшоно, Казанська 108, Чаплинська 1, Славгородська 270	1100	1700	2100
Ранні: Спасівська, Воронізька 76, Північнодакотська	1200	1900	2200
Середньоранні: Гібрид Донський, Харківська 23, Дніпропетровська	1300	2000	2400
Середньостиглі: ВІР 25, Успіх, ВІР 42	1400	2100	2500
Середньопізні: ВІР 50, Краснодарська 1/49, Стерлінг	1500	2200	2700

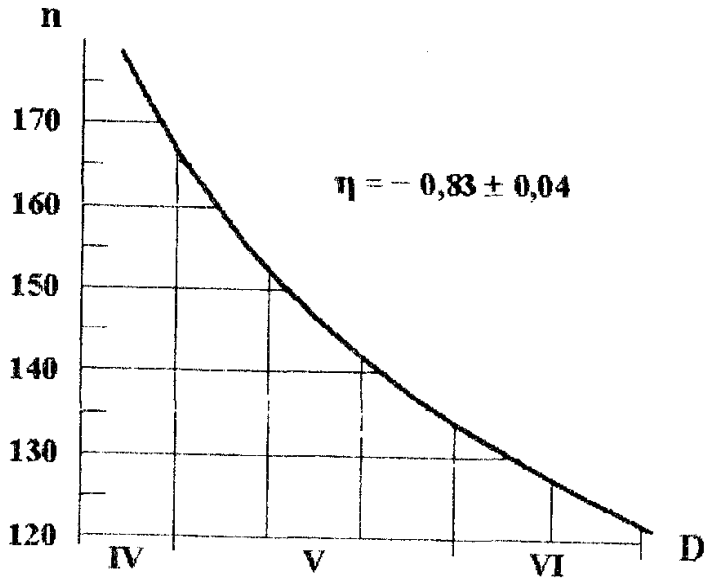


Рис.4.5 – **Зв′язок між строками сівби цукрових буряків (*D*) і тривалістю вегетаційного періоду (*n*).**

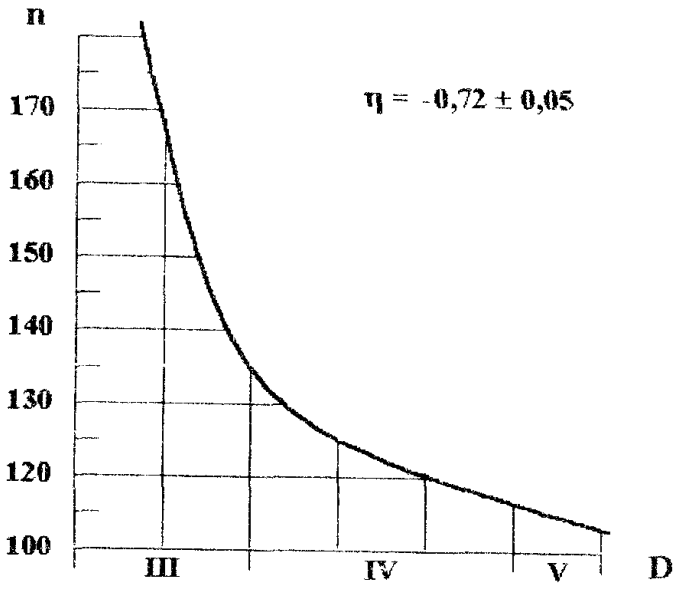


Рис.4.6 – **Зв′язок між строками сівби соняшника (*D*) і тривалістю вегетаційного періоду у днях (*n*).**

5 АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА МІНЕРАЛЬНЕ ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

5.1 Агрометеорологічні аспекти ефективності мінеральних добрив

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

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

Ефективність добрив визначається складним комплексом умов: родючістю грунту, 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 грунті, так і на дію добрив на рослини. До агрометеорологічних факторів, які визначають ефективність добрив, відносять рівень світлового живлення рослин, температуру та вологість повітря і грунту.

Згідно з Ф.М.Куперман продуктивність рослин є функцією відповідності рівнів світлового та мінерального живлення [23]. 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 грунті. Температура впливає на швидкість руху води та сольових розчинів, тобто на темпи надходження поживних речовин в рослини з грунту. За

невеликих температур (8-10^{0}С) зменшується надходження азоту в коріння та пересування його в надземні органи, послабшується редукція поглинених нітратів та використання азоту на утворення органічних сполучень. За більш низьких температур (5-6^{0}С та нижче) поглинення корінням азоту та фосфору різко знижується [58]. Оптимальна температура для надходження азоту та фосфору в рослини знаходиться в межах 23-25^{0}С.

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

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

В кліматичному аспекті зменшення кількості опадів за рік від північних районів Європейської території СНД до південних на 100 мм викликає 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 грунтової 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 грунту 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 грунту та його середньою об’ємною вагою представлена на *рис.5.1*.

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

Зв’язок ефективності добрив для зернових культур з вологозапасами грунту має параболічний характер (*рис.5.2*).

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

Внесення різних доз азотних добрив впливає не тільки на збільшення абсолютної маси, але й на вміст білка у зерні. Вплив азотних добрив на

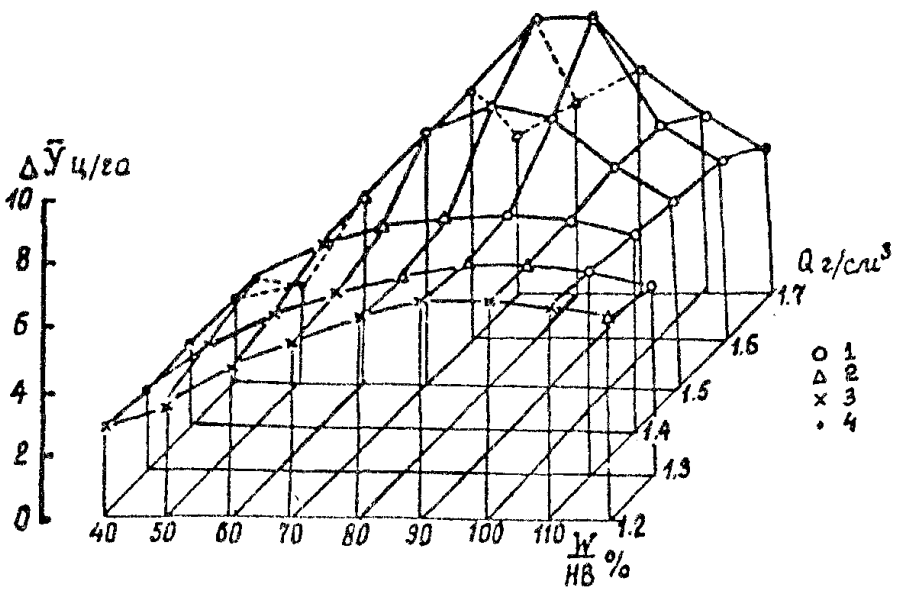


Рис.5.1 – **Схематична модель зв′язку ефективності добрив *NPK*=120-180 з вологозапасами грунту у період вегетації зернових культур (% від НВ) та середньою вологою шару грунту 0-100 см.**

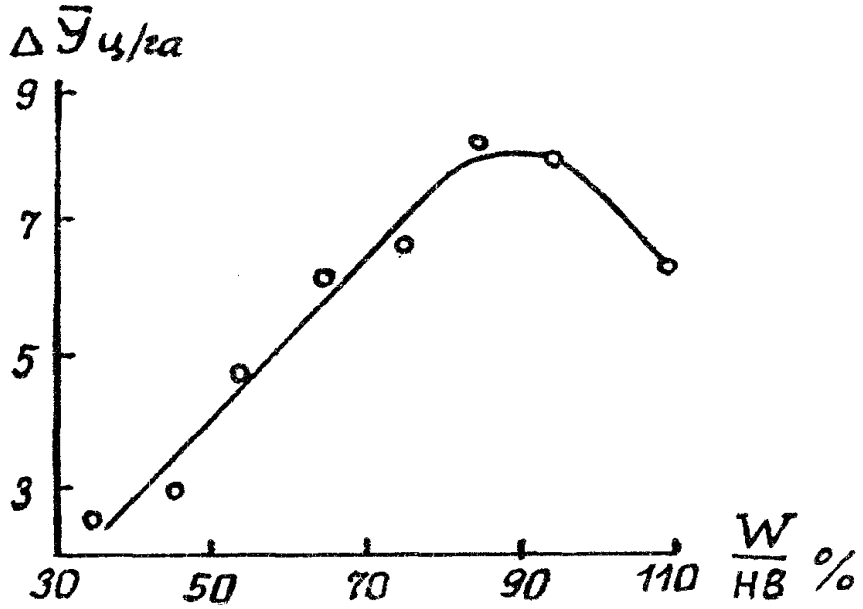


Рис.5.2 – **Залежність ефективності *NPK* (ΔУ ц/га) від запасів метрового шару грунту за вегетації зернових культур (% від НВ).**

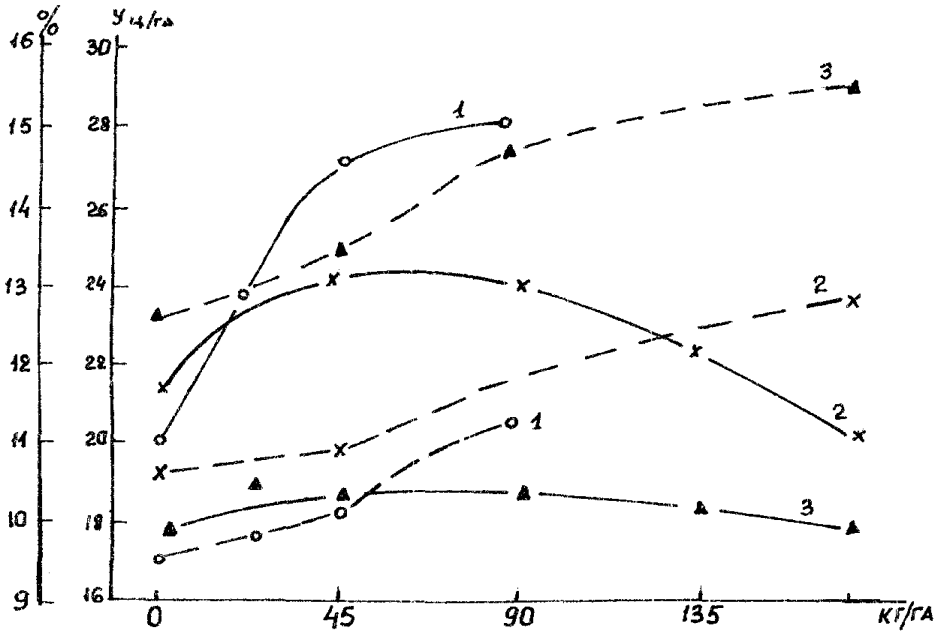


Рис.5.3 – **Вплив азотних добрив на врожай (*а*) та вміст білку (*б*) пшениці у вологий (1), помірно вологий (2) та посушливий роки (3).**

врожай та білковість пшениці у різні за вологістю роки наводиться на *рис.5.3*. Вміст білка в зерні із зростанням дози азотних добрив зростає в усі роки. Найбільший вміст білка в сухі роки.

У *табл.5.1* наводиться ефективність добрив у зв'язку з умовами зволоження травня-липня [24].

Правильне застосування добрив послаблює вплив несприятливих погодних умов на врожай. Застосування добрив зменшує також негативний вплив на врожай низьких температур, приморозків 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 сполучень, які ослабляють дію несприятливих метеорологічних умов зимового періоду.

Таблиця 5.1 – **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 *NPK*, 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

В цілому зв′язок ефективності добрив з метеорологічними факторами характеризується такими коефіцієнтами кореляції (*табл.5.2*).

Таблиця 5.2 – **Коефіцієнти кореляції між ефективністю середніх норм мінеральних добрив по зонах та метеорологічними факторами**

З о н а	Метеорологічні фактори				
	Опади, мм	Вологість грунту, мм	Температура повітря, ^{0}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

За дослідами О.І.Коровіна [25] оцінка ефективності добрив як функції метеорологічних факторів та окремих агрохімічних властивостей грунту може бути виконана на базі таких рівнянь регресії:

1) середня ефективність помірних доз добрив для озимих зернових культур:

$$\Delta y = 0{,}0142P + 1{,}835Q - 0{,}46d - 1{,}407;\ R = 0{,}83;\ S_y = \pm 1{,}13 \text{ ц/га} \qquad (5.1)$$

2) середня ефективність помірних доз добрив для ярих зернових культур:

$$\Delta y = 0{,}0047P + 0{,}0065Q + 1{,}0W/\text{НВ} - 0{,}24t - 0{,}00083\Sigma t + 7{,}71, \qquad (5.2)$$

де Δy – середня багаторічна ефективність добрив, ц/га;

P – кількість опадів, мм;

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

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

t – середня температура повітря, ^{0}С;

Σt – сума негативних температур повітря за зиму, ^{0}С;

Q – об’ємна вага метрового шару грунту, г/см^3.

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 [25].

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 використовується вираз:

$$\kappa = \frac{A_ч - 5{,}4\sin\varphi}{A_ч} \quad \text{(за С.П.Хромовим)} \qquad (5.3)$$

або

$$\kappa = \frac{A_ч + A_q + 0{,}25 d_o}{0{,}36\varphi + 14} \quad \text{(за М.М.Івановим)}, \qquad (5.4)$$

де $A_ч$ – річна амплітуда температури, ^{0}С;

A_q – добова амплітуда температури, ^{0}С;

d_o – нестача насичення вологості повітря у найсухіший місяць, мб;

φ – широта місцевості.

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

$$\Delta y = 0{,}0036\, P_{\text{IV-X}} + 0{,}02 P_{\text{XI-III}} + 0{,}055(W/\text{НВ}) + 6{,}29 e_{\text{V-VII}} +$$
$$+ 0{,}217\, e^2_{\text{V-VII}} + 46{,}48 KL + 0{,}099 V - 0{,}059 S - 0{,}061 P_o N + 76{,}04\ ; \qquad (5.5)$$

$R = 0{,}87$; $S_y = \pm 1{,}24$ ц/га ,

де Δy – середня багаторічна ефективність добрив під зерновими культурами, ц/га;

P – кількість опадів у різні періоди року, мм;

W/НВ – відношення середніх за вегетаційний період запасів продуктивної вологи до найменшої вологоємності грунту, %;

e – абсолютна вологість повітря, мб;

V – міра насиченості грунту основами, %;

S – сума поглинених основ, (мг на 100 г);

KL – вміст калію в грунті, (мг на 100 г);

P_oN – вміст рухомого фосфору в грунті (мг на 100 г).

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

Приклад розрахунку:

Розрахувати середню ефективність добрив для озимої пшениці 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 ($P_{IV\text{-}X}$) – 267мм; $P_{XI\text{-}III}$ – 150мм. Об'ємна вага метрового шару грунту (Q) – 15,1 г/см^3. 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 грунту ($W_{0\text{-}100}$) становлять за вегетаційний період 93,3 мм.

Середня температура повітря з травня до липня (t) складає 18,7^{0}С, сума негативних температур за зиму ($\sum t$) – 197,3^{0}С.

Таким чином, ефективність добрив за рівнянням (*5.1*) О.І. Коровіна [25] для озимої пшениці становить:

$$\Delta y = (0{,}0142\cdot 350) + (1{,}835\cdot 15{,}1) - (0{,}46\cdot 6{,}9) - 1{,}407 = 28{,}09;$$

$$\Delta y = 28{,}09 \text{ ц/га}$$

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.
Розрахунки виконуються за формулою (*5.5*).

Δy = (0,0036x267) + (0,02x150) + (0,055x(93,3/160,3)) + (6,29x6,9) +
+ (0,217x6,9^2) +(46,48x0,279)+(0,099x2,23) – (0,058x2150) –
– (0,061x194) + 76,4 = 9,06;
Δy = 9,06ц/га

5.2 Агрометеорологічні умови та оптимізація строків і доз підживлення зернових культур

5.2.1 Весняне підживлення озимих культур та погода

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 обумовлює більшу ефективність підживлення навесні та влітку, а ніж суха погода.

Схема визначення ефективності азотних добрив та збільшення врожаю при їх внесенні розроблена О.П.Федосєєвим (*табл.5.3* та *5.4*) [52].

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

Таблиця 5.3 – **Середнє збільшення врожаю (Δ*у*) озимої пшениці та ймовірність успішності внесення азотних добрив (30-80 кг/га діючої речовини – д.р.)**

Зона, район	Δ*у*, ц/га		Ймовірність, %		
	головне внесення	весняне підживлення	переважність головного внесення	переважність весняного підживлення	рівно-значність заходів
	Європейська частина СНД				
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 5.4 – **Ефективність азотних добрив (N 30-80 кг/га д.р. по фону РК) під озимі культури навесні**

Нечорноземна зона

Умови перезимівлі	Сприятливі	Вимерзання	Випрівання
Приріст врожаю, *Δу,* ц/га	6,5	2,8	2,3

5.2.2 Строки весняного підживлення азотом озимих культур

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 грунтовим 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.5.5*).

Таблиця 5.5 – **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^{0}С.

Вищеописані дослідження [52] та прогноз 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.

5.2.3 Визначення оптимальних доз азотних добрив для весняного підживлення в залежності від опадів

При визначенні оптимальних доз азотних добрив для весняного підживлення озимих враховуються опади за осінній (з серпня до переходу температури повітря через 5^{0}С) та зимовий періоди (з наступної декади після переходу температури повітря через 5^{0}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.

У нечорноземних районах Європейської частини СНД з переважно дерново-опідзоленими та сірими лісними грунтами опади враховуються за

період від 1-го серпня до 1-ої весняної декади з середньою температурою повітря 5^0С. У лісостепових і степових районах з вилуженими, типовими, звичайними і південними чорноземами опади підраховуються включно до січня. О.П.Федосєєвим побудовані графіки (*рис.5.4,а,б,в,г*) розрахунку доз раннього весняного підживлення азотом. Різні поєднання осінніх та зимових опадів утворюють чотири зони (I–IV). 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 грунту, 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 ефективне.

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 грунту.

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

5.2.4 Врахування агрометеорологічних умов при визначенні літнього азотного підживлення зернових культур

О.П.Федосєєвим та З.А.Шостак [53] 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%.

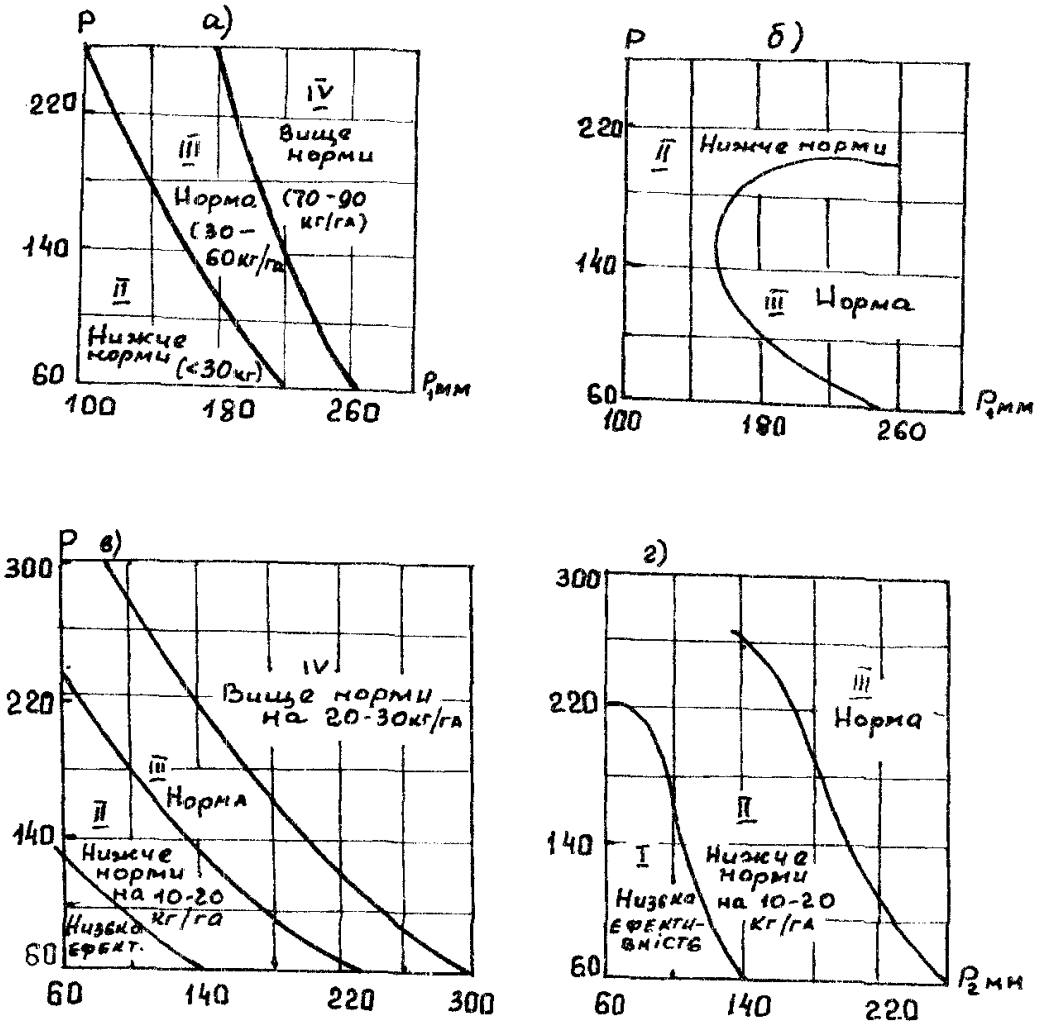


Рис.5.4 – **Поправки до встановлених доз весняного підживлення азотом озимих зернових культур:**

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.**

5.2.5 Ефективність літнього підживлення в залежності від умов погоди

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 сполучень уповільнюється [24].

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:

$$\Delta П = -0{,}63\sqrt[3]{x_1} + 0{,}20 \ln x_2 + 1{,}5; \qquad (5.6)$$

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

де $\Delta П$ – 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.

Але прогнозувати доцільність літнього підживлення в зв′язку з умовами погоди за цим рівнянням не можливо.

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

забезпечує приріст протеїну на 1% і більше. Залежність приросту протеїну від вологості грунту у період літнього підживлення описується рівнянням:

$$\Delta П = 0{,}058x - 0{,}000005x^3 - 0{,}55;\ R=0{,}76;\ S_{\Delta П} = \pm 0{,}06, \qquad (5.7)$$

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

5.2.6 Складання рекомендацій щодо проведення літнього підживлення азотом

Літнє підживлення азотними туками проводиться тільки у період від колосіння до цвітіння. Тому рекомендації складаються після масового колосіння окремо для кожного поля. Для цього необхідна така інформація: найменша вологоємність у шарі 0-20 см; запаси продуктивної вологи (мм) на дату колосіння. Якщо $W_{0\text{-}20} < 10$ мм, то впродовж 10-12 днів спостерігають за їх зміною і перед цвітінням приймають остаточне рішення щодо підживлення.

Літнє підживлення пропонується, якщо вологість грунту становить 50-80% НВ; якщо ж вологість грунту становить 20-50%НВ, то підживлення
проводиться після дощу 5 мм і більше. Опади після підживлення більше 20 мм за добу зменшують ефективність підживлення. Підживлення не проводиться, якщо вологість грунту більше 80% або менше 25% НВ.

Приклад: рекомендації щодо підживлення рослин наводяться у *табл.5.6*.

Перевірка ефективності рекомендацій. Для перевірки ефективності рекомендацій використовують дані дослідних сільськогосподарських станцій. Якщо ж дані відсутні або станції знаходяться далеко (>40км), то закладається спеціальний дослід методом контрольних смуг. Він полягає в тому, що при внесенні добрив літаком у полі залишаються контрольні смуги без підживлення. Вони розташовуються таким чином, щоб відображати особливості всього поля. Розмір смуг повинен бути не менше 4х10 м. Літнє підживлення на контрольних майданчиках проводиться із розрахунку 30 кг/га діючої речовини аміачної селітри або сечовини (у туках 100 або 75 кг/кг відповідно). Повторність повинна бути три- або чотирикратною. Перед збиранням відбираються зразки зерна для аналізу на протеїн на ділянках з підживленням та без нього. Зерно (вагою до 1 кг) відбирається у торбинки і відсилається на аналіз у відповідну лабораторію.

Таблиця 5.6 – **Приклад складання рекомендацій щодо проведення літнього азотного підживлення під зернові культури**

Номер поля	Культура, сорт	НВ у шарі 0-20см	Дата		Вологість грунту у період від колосіння до цвітіння			Опади >5мм від колосіння до цвітіння		Рекомендації	Зауваження
			колосіння	цвітіння	дата визначення	запас продуктивної вологи, мм	вологість грунту, %*НВ*	дата дощу	кількість, мм		
1-е	Озима пшениця, Миронівська 808	58	28.V	6.VI	28.V 31.V	12 33	21 57	31.V	17	Підживлення не доцільне Літнє підживлення повинно бути не пізніше 2.VI	Спостереження продовжуються
2-е	Яра пшениця, Харківська, 46	41	6.VI	12.VI	6.V	8	20	Дощів не було		Підживлення не доцільне	Спостереження продовжуються
3-е	Озиме жито, Белта	89	24.V	2.VI	24.V	56	63	Те ж		Літнє підживлення повинно бути не пізніше 26.V	Спостереження продовжуються

6 АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА ФОТОСИНТЕТИЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

6.1 Фотосинтетична продуктивність посівів сільськогосподарських культур

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

Рослини під впливом сонячної енергії та поглинання CO_2 з повітря і води з грунту в процесі фотосинтезу створюють органічну речовину у вигляді асимілятів – це перший процес.

Другий процес – дихання – забезпечує енергією різні біохімічні процеси синтезу.

Третій процес – ріст. Фотосинтез і ріст розглядаються як паралельні та сумісні процеси.

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

$$\Delta M = M_2 - M_1 \tag{6.1}$$

Відзначають *абсолютну швидкість росту*

$$\Delta M/\Delta t = (M_2 - M_1) / (t_2 - t_1) \tag{6.2}$$

та *відносний приріст*

$$H_г = (M_2 - M_1) / [\overline{M}\,(t_2 - t_1)]\,, \tag{6.3}$$

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

Також використовується поняття *чиста продуктивність фотосинтезу* посівів, яка визначається як

$$Еч.п = \frac{1}{\overline{L}_o} \cdot \frac{\Delta M}{\Delta t} \tag{6.4}$$

де $\overline{L}_o$ – середня сумарна площа листя за період Δt.

Ефективність використання сонячної радіації рослинами

характеризується *коефіцієнтами корисної дії (*ККД*)*:

$$\eta = \frac{qУ \cdot 100\%}{\sum Q_ф} \qquad (6.5)$$

де η – ККД;

q – калорійність рослин, кДж/г;

$У$ – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м^2;

$\sum Q_Ф$ – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м^2.

Одночасно з визначенням ККД посіву по загальній сухій масі рослин можна визначити окремо ККД господарсько цінної частки врожаю за вегетаційний період:

$$\eta_x = \frac{qM_x \cdot 100\%}{\sum Q_ф}, \qquad (6.6)$$

де M_x – суха фітомаса господарсько цінної частки врожаю.

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

$$\eta_x = \eta \cdot K_{госп}, \qquad (6.7)$$

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

Для визначення калорійності рослин q (питомої теплоти згорання) використовуються різні способи. Х.Г.Тоомінгом встановлено, що питома теплота згорання знаходиться у межах 16,7–20,5 кДж/г. Значення q деяких ценозів наводяться у *табл.6.1*.

Таблиця 6.1 – **Середня теплота згорання *q* біомаси деяких ценозів (за Н.Літом)**

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

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. Крім того, в екстремальних умовах q вище чим у сприятливих.

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

$$\eta_{пад} = a_n \, q_{погл} \, , \qquad (6.8)$$

де $\eta_{пад}$ – ККД, визначений відносно падаючої радіації,

а $\eta_{погл}$ – ККД, визначений відносно поглиненої радіації;

a_n – функція поглинання.

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.

За даними О.О.Ничипоровича [9] 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 продуційного процесу рослин.

Приклад: Розрахувати ККД кукурудзи в період листоутворення, якщо: q =17,6 кДж/г; $У$=0,286 г/см^2 ; Q = 464,6 МДж/м^2 .

Використовуючи формулу (*6.5*), визначаємо ККД:

$$\eta = \frac{q \cdot У \cdot 100}{\sum Q_ф} = \frac{17{,}6 кДж \cdot 0{,}286 \cdot 100}{464{,}6} = 1{,}08$$

6.2 Рівняння росту і розподілу асимілятів

Задача прогнозування врожайності сільськогосподарських культур пов′язана із необхідністю врахування при її розв′язанні складних біологічних закономірностей формування врожаю. Методологія динаміко-статистичного прогнозування спирається з одного боку на використання методів прогнозу по одному часовому ряду, з іншого боку – на методи оцінки погодних умов за допомогою динамічних моделей продуктивності.

Для кількісного опису росту окремих органів рослин використовують систему рівнянь, яка отримана на основі уявлень про фотосинтез, дихання та обмін асимілятів між окремими органами рослини [20,10,21]:

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

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

(6.9)

де $\Delta m_{i(p)} / \Delta t$ – швидкість росту i-го вегетативного (репродуктивного) органу, г·м$^{-2}$·доб$^{-1}$;

$\tilde{m}_{i(p)}$ – функціонуюча біомаса i-го вегетативного (репродуктивного) органу, г·м$^{-2}$;

β_i – ростова функція вегетативного періоду, безрозмірна;

α – онтогенетична крива дихання, безрозмірна;

v_i – ростова функція репродуктивного періоду, ^{0}С$^{-1}$;

r – коріння; l – листя; r – стебла;

C_m – коефіцієнт дихання підтримки, г·г$^{-1}$ доб$^{-1}$;

C_G – коефіцієнт дихання росту, безрозмірний;

Φ – фотосинтез посіву, г·м$^{-2}$·доб$^{-1}$.

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

В роботі [21] 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:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\Delta m_i^{j+1}}{\Delta t} = \beta_i^j \dfrac{\Delta M^j}{\Delta t} - v_i m_i \\ \dfrac{\Delta m_p^j}{\Delta t} = \beta_p^j \dfrac{\Delta M^j}{\Delta t} + \sum\limits_i^{l,r,s} v_i m_i \end{array} \right\}, \qquad (6.10)$$

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

Функції вегетативного росту β_i визначаються згідно із системою (*6.9*) з формули

$$\beta_i = \Delta m / \Delta M \qquad (6.11)$$

і показують долю сумарного приросту всієї рослини, яка приходиться на i-й орган.

Функції репродуктивного росту

$$v_i = \frac{\Delta m_i}{\Delta t} \cdot m_i^{-1} \ , \qquad (6.12)$$

де β_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 [22].

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 грунтово-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 [10], 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:

$$m(t) = \frac{m^*}{1 + 10^{a - bt}} \tag{6.14}$$

та має такі властивості

$$\lim_{t \to -\infty} m(t) = 0, \quad \lim_{t \to +\infty} m(t) = m^*, \qquad m(0) = \frac{m^*}{1 + 10^a} \tag{6.15}$$

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

Аналіз формули (*6.14*) 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

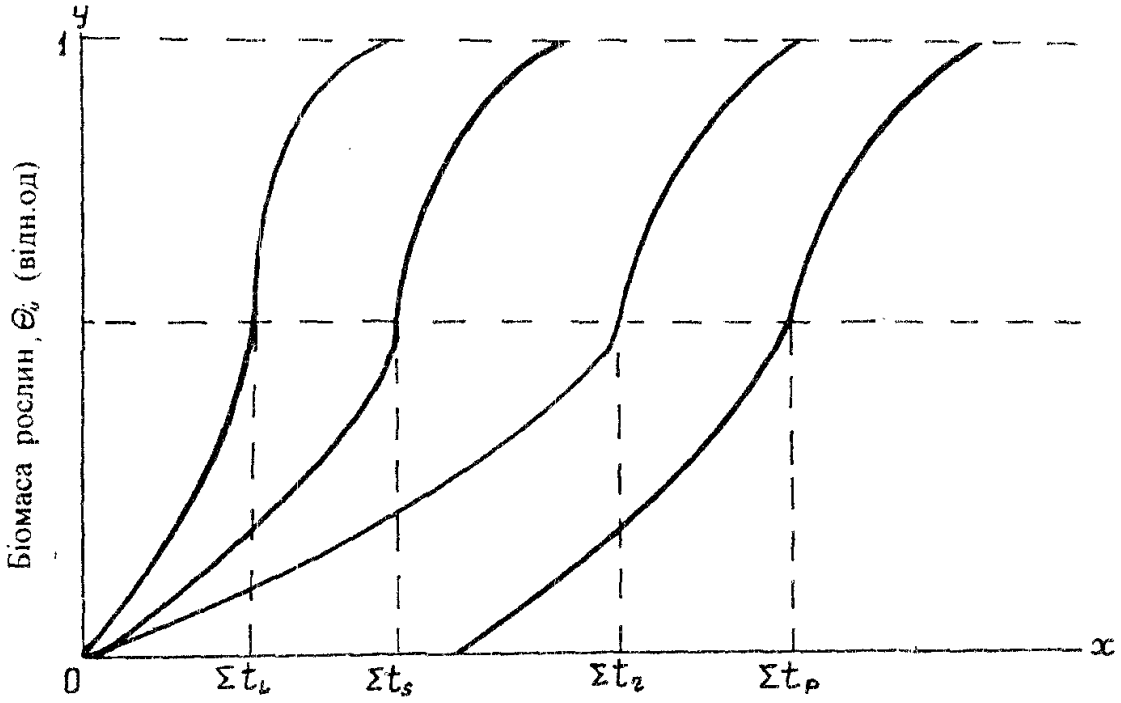


Рис.6.1 – **Динаміка накопичення біомаси окремих органів рослин (*x*).**
(Σt_l, Σt_s, Σt_r, Σt_p – суми температур, що становлять ½ суми необхідної для закінчення росту органів: *l* - листя, *s* - стебел, *r* - коріння, *p* – колосу; Σt_p – сума температур початку росту колосу).

багаторічними даними, то криві будуть зміщені відносно одна одної по осі часу в залежності від часу утворення будь-якого органа (*рис 6.1*).

Сім′я кривих, які представлені на *рис 6.1*, описується рівнянням:

$$m_i(t) = \frac{m_i^*}{1 + 10^{a_i - b_i(t - t_{\omega_i})}}, \qquad (6.16)$$

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 органу. 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_{ω_i} визначається візуально, в цей час маса *i*-го органа $m_i(t_\omega) = m_{\omega_i} > 0$. 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.

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

$$a_i / b_i = (t_{m_i} - t_{\omega_i})/2 \qquad (6.17)$$

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

$$m_i(t_{\omega_i}) = m_{\omega_i} = \frac{m_i^*}{1 + 10^{a_i}}, \qquad (6.18)$$

$$m_i(t_{m_i}) = m_{m_i} \frac{m_i^*}{1+10^{a_i - b_i(t_{m_i} - t_{\omega_i})}} \tag{6.19}$$

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 (*6.17*), (*6.18*), (*6.19*).

З формули (*6.17*) знайдемо параметр b_i

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

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

$$m_{m_i} = \frac{m_i^*}{1+10^{-a_i}} , \tag{6.20}$$

Поділимо (*6.20*) на (*6.18*)

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

знайдемо, що

$$a_i = \log \frac{m_{m_i}}{m_{\omega_i}} , \tag{6.21}$$

Підставимо (*6.21*) у формулу (*6.18*)

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

Отримаємо

$$m_i^* = m_{\omega_i} + m_{m_i} \tag{6.22}$$

Підставимо (*6.21*) у (*6.17*), знайдемо, що

$$b_i = \frac{2a_i}{t_{m_i} - t_{\omega_i}} = \frac{2\log m_{m_i} / m_{\omega_i}}{t_{m_i} - t_{\omega_i}} \tag{6.23}$$

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

$$a_i = \log S_i \tag{6.24}$$

$$b_i = \log S_i / P_i \tag{6.25}$$

Таким чином, співвідношення (*6.24*), (*6.22*) та (*6.25*) 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 (*6.16*) та знайдемо, що

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

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

Після спрощення запишемо рівняння логістичної кривої у кінцевому вигляді:

$$m_i(t) = \frac{m_{\omega_i} + m_{m_i}}{1 + S_i^{\left(1 - \frac{t - t_{\omega i}}{P_i}\right)}} \tag{6.26}$$

Розрахунок функцій вегетативного росту за допомогою формули (*6.17*) полягає в отриманні 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 цілого (вся рослина).

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

$$\mu_i(t) = \frac{C_i}{1 + S_i^{\left(1 - \frac{t - t_i}{P_i}\right)}} \tag{6.27}$$

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

Рівняння швидкості росту біомаси:

$$\frac{\Delta\mu_i}{\Delta t} = \frac{C \ln S_i \cdot S_i^{\left(1 - \frac{t - t_i}{P_i}\right)}}{P_i \left[S_i^{\left(1 - \frac{t - t_i}{P_i}\right)} + 1 \right]^2} \tag{6.28}$$

Тоді функції росту i-го органа у вегетаційний період можна записати у вигляді:

$$\beta_i = \frac{\Delta m_i}{\sum\limits_{i}^{l,s,r,p} \Delta M_i}, \tag{6.29}$$

$$\beta_i > 0, \quad \sum \beta_i = 1, \quad \in i, c, l, s, r, p.$$

При розробці загального підходу до описання ростових функцій А.М.Польовий [10] 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 знижується біомаса вегетативного органа перед тим, як він відмирає:

$$m_{crit_i} = m_{\max_i} k_{s_i}, \quad i \in l, s, r \tag{6.30}$$

Якщо біомасу *i*-го органа на початку старіння позначити як $m_{\max_i}$, то біомаса органа на момент дозрівання буде дорівнювати:

$$m_{rip_i} = m_{\max_i} - m_{crit_i} \tag{6.31}$$

Розділимо всі члени виразу (*6.31*) на $m_{\max_i}$, отримаємо значення μ у відносних одиницях:

$$\mu_{rip_i} = 1 - k_{s_i} \tag{6.32}$$

Процес зменшення біомаси в залежності від віку органа можна представити у вигляді прямої, аналітичний вигляд цієї залежності такий:

$$\mu_i = d_i\, t + d_\omega \tag{6.33}$$

Параметр d_i характеризує швидкість зменшення біомаси (у відносних одиницях) вегетативного органа, його можна знайти з формули:

$$d_i = -\frac{k_{s_i}}{t_{rip} - t_{\max_i}}, \tag{6.34}$$

де t_{rip} – час дозрівання рослини;

$t_{\max_i}$ – час досягнення органом максимальної маси.

Запишемо $d_i = v$ та виразимо час у традиційній для агрометеорології шкалі; тоді отримаємо

$$v_i = -\frac{k_{s_i}}{\sum T_{rip} - \sum T_{\max_i}}, \qquad (6.35)$$

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 (*6.29*) та (*6.35*) для оцінки ростових функцій β_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 визначилися за допомогою осереднення експериментальних даних та існуючих літературних даних.

Для оцінки параметра b_i використовувались деякі особливості логістичної кривої вигляду 1 (крива на *рис.6.1*), наприклад, те , що крива симетрична відносно точки перегину.

Точка перегину виникає при

$$a_i - b_i t = 0 \qquad (6.36)$$

З врахуванням (*6.36*) часову координату точки перегину *t* можна визначити із співвідношення

$$t = a_i / b_i \qquad (6.37)$$

Параметр *t* у формулі (*6.37*) – це час, який дорівнює половині всього періоду росту *i*-го органа. Якщо часова шкала прийнята 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

$$b_i = \frac{a_i}{1/2 \sum T_{\max_i}} \tag{6.38}$$

Чисельні значення всіх параметрів, про які говорилося вище, представлені в *табл.6.2*.

Таблиця 6.2 – **Значення параметрів функцій періоду вегетативного росту різних культур**

Параметр	Листя	Стебла	Коріння	Репродуктивні органи
Озима пшениця				
a_i	1,24	1,86	1,92	1,78
$1/2 \sum t_{\max_i}$, ^{0}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
$1/2 \sum t_{\max_i}$, ^{0}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
$1/2 \sum t_{\max_i}$, ^{0}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

Оцінку функцій періоду репродуктивного росту проводимо згідно з формулою

$$v_i = -\frac{k_{s_i}}{\sum T_{rip} - \sum T_{\max_i}} \qquad (6.39)$$

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′язнення картоплиння у картоплі) та суми ефективних температур (або активних), які необхідні для закінчення росту *i*-го органа. Чисельні значення функцій періоду репродуктивного росту представлені у *табл.6.3*.

Таблиця 6.3 – **Значення функцій періоду репродуктивного росту v (^{0}C^{-1})**

Культура, сорт	Функції		
	v_l x 10^{-4}	v_s x 10^{-4}	v_k x 10^{-4}
Озима пшениця, Миронівська 808	-2,7	-3,6	-2,6
Ярий ячмінь, Ліговський 78	-3,5	-4,7	-3,4
Картопля, Дєтськосільська	-4,0	-5,1	-3,9

Програма для розрахунку ростових функцій на ПЕОМ представлена у додатку Г.

7 ВПЛИВ НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВ НА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН

7.1 Агрометеорологічна характеристика посух і суховіїв

На территорії СНД в умовах посушливого і сухого кліматів дуже часто виникають посухи і суховії. Вони приносять великі збитки сільському господарству.

Посухи виникають внаслідок потужних атмосферних процесів, що охоплюють великі території і проявляються з будь-якою інтенсивністю. Ймовірність появи посух пов'язана з континентальністю клімату.

У країнах співдружності 45% площі під зерновими культурами розташовано в зоні недостатнього зволоження, де середня сума опадів за рік менше 400 мм. Саме на цій территорії найчастіше виникають посухи.

В залежності від інтенсивності і площі захвату посуха викликає зменшення врожаїв хлібів, трав, овочевих, плодових культур.

Негативні наслідки посух також відчутні і в інших галузях народного господарства.

Посухою вважають метеорологічні умови, за яких наступає різка невідповідність між потребами рослин у воді і надходженням її з грунту.

Зменшення негативного впливу посух потребує глибокого вивчення цього явища фахівцями різного профілю.

В агрометеорології багато робіт, в яких досить докладно досліджені різні аспекти цього явища. Вивчена географія посух, ймовірність виникнення, інтенсивність їх, розрахована оцінка втрат врожаю різних сільськогосподарських культур.

Останні 20 років характеризуються появою великих посух. Це посухи 1972, 1975, 1979, 1981, 1982, 1984, 1995, 1996 років. В 1975 і 1982 р.р. посухи були жорстокими і охопили більше 10 зернових районів у співдружності.

Майже щорічно в різних районах виникає посуха.

Посухи характеризуються часом виникнення, тривалістю, підвищенням температури повітря, малою кількістю опадів або їх повною відсутністю, тривалим бездождям, підвищеною суховійністю, великою випаровуваністю і зменшенням врожаю різних рослин.

Розрізняються посухи весняні, літні, осінні. За інтенсивністю розподіляються на дуже сильні, сильні і середні.

Посухи виникають на фоні тривалої антициклонічної погоди. Ф.Ф. Давітая запропонував схему Утворення посух (*рис.7.1*).

Для оцінки посух в агрометеорології використовують такі *показники*:

1. Показник Г.Т. Селянинова (гідротермічний коефіцієнт, ГТК), який розраховують за кожну декаду вегетаційного періоду:

$$ГТК = \frac{\sum P}{0{,}1\sum t_{>10°C}}, \qquad (7.1)$$

де $\sum P$ – сума опадів за декаду, мм;

$\sum t_{>10°C}$ – сума температур вище 10°С за декаду.

Якщо ГТК = 0,4 – дуже сильна посуха;

від 0,4 до 0,5 – сильна посуха;

від 0,5 до 0,6 – середня посуха.

2. Показник зволоження Д.І. Шашко:

$$Md = \frac{\sum P}{\sum d}, \qquad (7.2)$$

де $\sum P$ – сума опадів за рік, мм;

$\sum d$ – сума середніх добових дефіцитів насичення повітря, мм;

Md = 0,33 - 0,47 – середня посуха;

Md від 0,20 до 0,33 – сильна посуха;

Md < 0,20 – дуже сильна посуха.

Формулу Д.І. Шашко також використовують для визначення *Md* за кожен місяць вегетаційного періоду.

3. Показник Є.С. Уланової для зернових культур:

$$Ky = \frac{W_5 + \sum P_{V-VI}}{0{,}01\sum t_{V-VI}}, \qquad (7.3)$$

де W_5 – запаси продуктивної вологи навесні при переході температури повітря через 5° С у шарі 0-100см, мм;

$\sum P_{V\text{-}VI}$ – сума опадів за травень-червень, мм;

$\sum t_{V\text{-}VI}$ – сума температур за травень-червень, ^{0}С.

Якщо K_y < 15 – дуже сильна посуха;

від 15 до 20 – сильна посуха;

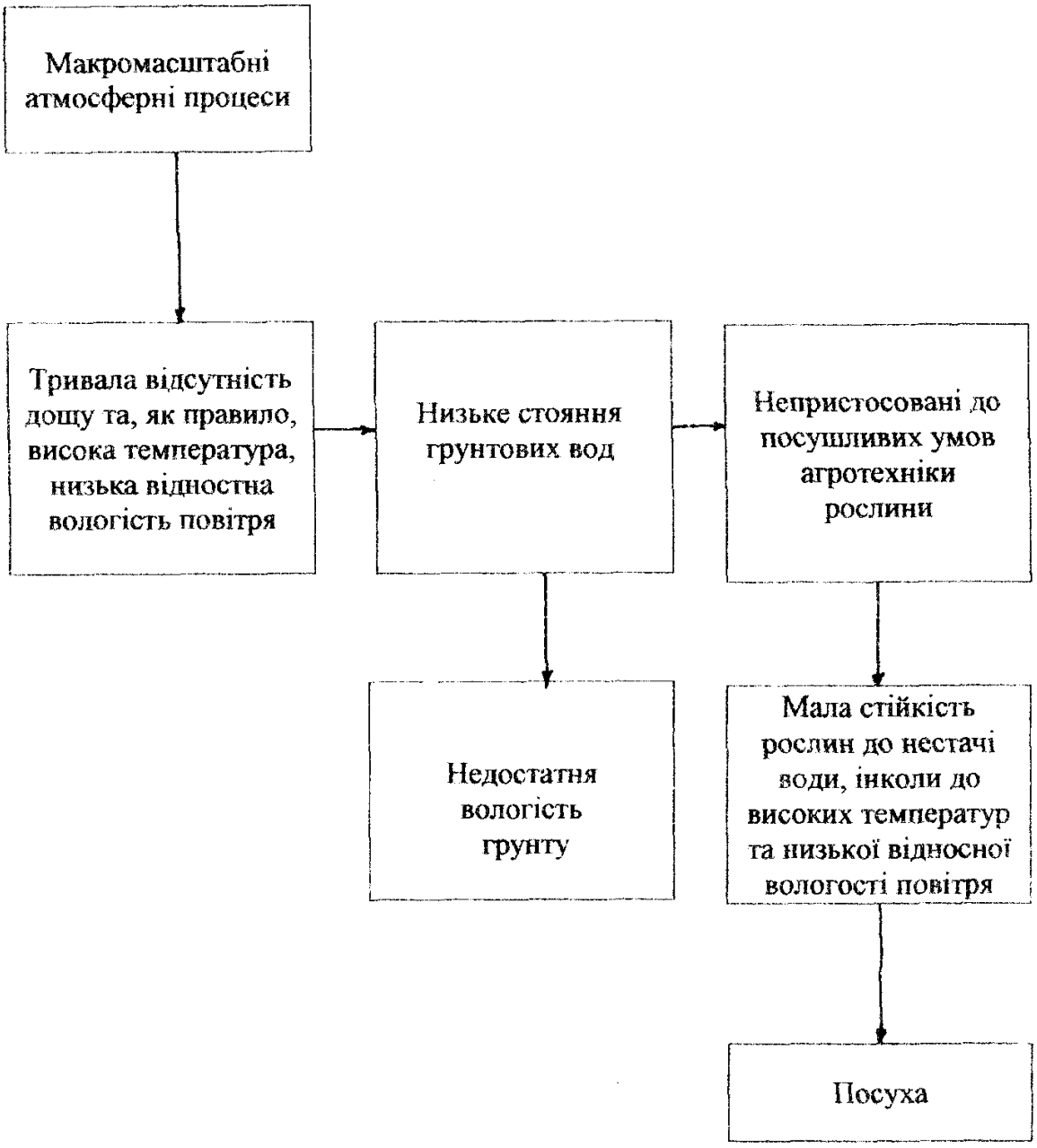


Рис.7.1 – **Схема утворення посух (за Ф.Ф.Давітая, 1966).**

$K_y \leq$ 25 - середня посуха.

4. О.І. Руденко для оцінки посушливих умов для зернових культур використовував кількість опадів від сходів до колосіння, значення ГТК за цей період і кількість посушливих декад. Інтенсивність посух згідно з О.І. Руденком наводиться в *табл.7.1*.

Таблиця 7.1 – **Показники інтенсивності посух**

Інтенсивність посух	Сума опадів від сходів до колосіння, (мм)	ГТК	Кількість посушливих декад	% опадів від норми за вегетацію
Дуже сильна	біля 18	0,4	5 і більше	40-50
Сильна	30-35	0,4-0,5	3-4	60-70
Середня	трохи більше за 35	0,5-0,6	2 і менше	біля 80

5. Для оцінки посух використовують дані про запаси продуктивної вологи в тому чи іншому шарі грунту і порівнюють ці величини з потребами рослин. Якщо навесні запаси вологи в шарі грунту 0-100 см 60 мм і менше – виникає загроза сильної посухи.

М.С. Кулик [34] запропонував для оцінки посушливих умов використовувати вологозапаси в шарі грунту 0-20 см на початку розвитку зернових. Якщо запаси вологи менше ніж 20 мм – декада буде посушливою, менше 10 мм – сухою. Три сухих декади в період кущіння - молочна стиглість – середня посуха, 4-5 декад – дуже сильна посуха.

6. Початок посухи визначають з формули Н.В. Бова:

$$K_Б = \frac{10(W + P)}{\sum t}, \qquad (7.4)$$

де W – запаси вологи в шарі грунту 0-100 см навесні, мм;

P – опади з весни до початку посухи, мм;

$\sum t$ – сума середніх добових температур з весни до посухи, ^{0}С.

Якщо $K_Б$ = 1,5 – це початок посухи.

Суховій – це складне метеорологічне явище, яке характеризується низькою відносною вологістю повітря (<30%) вкупі з високою його температурою (вище 25°С) і швидкістю вітру не менш ніж 5 м /сек. Такий

збіг факторів викликає високу випаровуваність, що веде до порушення водного балансу рослин.

Порушення водного балансу рослин призводить до того, що вони в'януть, жовтіють, а потім починає засихати листя, утворюється щупле зерно, осипаються репродуктивні органи.

Інтенсивність пошкодження рослин залежить від величини розриву між випаровуваністю і водопостачанням рослин. Це свідчить про те, що показники пошкодження від суховіїв повинні бути комплексними. За інтенсивністю суховії розподіляються на *дуже інтенсивні, інтенсивні, середньої інтенсивності і слабкі*.

Складність явища суховіїв привела до створення різними авторами багатьох кількісних характеристик: О.О. Камінським, Є.Є. Федоровим, М.С. Куликом, Г.Т. Селяниновим, Є.А. Цубербілер та ін.

1) Є.Є.Федоров за суховійний приймав день з середньою за добу температурою вище 27,5° С, при середній відносній вологості менше 60% незалежно від швидкості вітру. А при t = 22,5-27,5°С дні з відносною вологістю 40% і сильним вітром.

2) Н.К. Софотеров за суховійні дні приймає дні з максимальною температурою 30° С і денним дефіцитом насичення 24 мм.

3) М.С. Кулик вказував на те, що серед агрономів критерієм суховіїв є відносна вологість повітря о 13 годині менше 30%, температура повітря вище 25° С і швидкість вітру 5 м/с і більше.

4) Г.Т.Селянинов приймав за суховійний – день з добовою випаровуваністю 8 мм і більше.

5) О.А. Цубербілер розробила класифікацію інтенсивності суховіїв за різними показниками пошкодження зернових культур (*табл.7.2*). Також нею розроблена оцінка умов суховійності стосовно формування зерна різної наповненості (*табл.7.3*).

О.А.Цубербілер за показник пошкодження також використовувала «евопорометричний коефіцієнт» Скворцова:

$$K_e = \frac{U_\Phi}{U_{cm}}, \qquad (7.5)$$

де U_Φ – випарування з природної поверхні поля, мм;

U_{cm} – випарування з «стандартної» водної поверхні, що розраховується з формули Мейєра-Тихомирова:

$$U_{cm} = 0{,}012D, \qquad (7.6)$$

де D – дефіцит тиску водяної пари, гПа.

Сприятливі умови для нормальної життєдіяльності рослин складаються, якщо K_e = 0,8 -1,0.

Таблиця 7.2 – **Агрометеорологічні критерії пошкодження зернових культур суховіями**

Метеорологічні елементи		Типи суховіїв			
		Слабкі	Середньої інтенсив-ності	Інтенсивні	Дуже інтенси-вні
Випаровуваність (мм/доба)		3-5	5-6	6-8	>8
Дефіцит насичення по-вітря в будці о 13 год. Для швидкості вітру 5 м/с	<10	15-24	25-29	30-39	>40
	≥10	10-14	≥20	≥25	≥35
Запаси продуктивної вологи (мм) по шарах (см), при яких спостерігається пошкодження	0-20	≤20	≤10	≤10	–
	0-50	≤50	≤30	–	–
	0-100	≤80	≤50	≤30	≤30
Характеристика пошкодження рослин		Легке знижe-ння тургору	Значне зниження тургору, скручуван-ня листя, пожовтіння, підсихання. У рослин можливий невеликий захват через 3-5 днів	Сильне в′янення і усихання вегета-тивної маси, захват зерна через 2-3 дні, у загар-тованих рослин, у незагар-тованих – через 1-2 дні	Швидке і сильне пошкод-ження вегетати-вної маси, захват зерна через 1-2 дні

Таблиця 7.3 – **Оцінка умов суховійності періоду «третій лист – воскова стиглість» стосовно формування маси 1000 зерен ярої пшениці**

Зона	Інтенсивність суховіїв, гПа	Число днів з суховіями, за яких формується маса 1000 зерен		
		висока	середня	низька
Лісостеп Західного Сибіру	≥20	< 7	7-34	>34
Степи Західного Сибіру	≥20 ≥30	<17 <2	7-35 2-17	>35 >17
Степи Поволжя	≥20	<4	4-20	>20

Приклади розрахунку показників посушливих умов і суховійних днів.

1. Розрахувати можливість виникнення посушливих умов для зернових, якщо: W_5=26,0мм; $\Sigma P_{V\text{-}VI}$=31 мм; $\Sigma t_{V\text{-}VI}$=303^{0}С. Розрахунок за формулою (*7.3*).

$$K_y = \frac{26{,}0 + 32\text{м}}{0{,}01 \cdot 303} = \frac{57}{3{,}03} = 18{,}8$$

Це показник сильної посухи.

2. Розрахувати оцінку посушливих умов для зернових культур, якщо від сходів до колосіння *P*=25 мм; *t* =40^{0}С; кількість посушливих декад – 5; середня багаторічна кількість опадів *P*=90мм.

а) розраховується $\text{ГТК} = \frac{25}{0{,}1 \cdot 940} = \frac{25}{94} = 0{,}27$;

б) розраховується сума опадів у % від середнього багаторічного: 90 – 100%

$$25 - x, \qquad x = \frac{25 \cdot 100}{90} = 28\%;$$

в) з *табл.7.2* визначається інтенсивність посухи: дуже сильна.

3. Скласти оцінку посушливих умов в період кущіння-молочна стиглість за методом М.С.Кулика , якщо запаси вологи у орному шарі грунту складають:

	травень			червень			липень		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
W_{0-20}	21	18	15	20	15	8	6	9	3

Кущіння – 11 травня; молочна стиглість – 16 липня. За період кущіння-молочна стиглість спостерігається 3 посушливих декади (друга і третя декада травня, перша червня), а також 3 сухих декади (третя червня і перша і друга липня). За даними М.С.Кулика це показники дуже сильної посухи.

4. Розрахувати кількість суховійних днів у червні (I декада) та скласти оцінку умов суховійності за методом І.А.Цубербіллер за даними *табл.7.4*.

Метеорологічні елементи	Числа місяця									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Дефіцит насичення (d),мм	5	7	10	11	13	20	26	25	21	10
2.Запаси продуктивної вологи, W_{0-20} W_{0-100}	30 100	28 96	26 80	20 75	16 69	10 50	8 45	7 38	8 45	13 54
3.Випаруваність, мм	3	3	4	5	6	6	7	6	6	5
4.Швидкість вітру, м/сек	-	3	3	5	5	7	7	9	5	5

Користуючись *табл.7.2* визначається оцінка суховійності: 1,2,3,4 червня – суховіїв не було; 5,6 червня – слабкий суховій, 6 – середньої інтенсивності; 7,8,9 – інтенсивний суховій.

7.2 Розрахунок показників перезволоження

На території України в північних та північно-західних районах, а також в деякі роки в інших зонах, складаються несприятливі умови вирощування сільськогосподарських культур внаслідок перезволоження грунту на полях.

Надмірне зволоження буває при такому стані грунту, коли середній вміст в ньому вологи за вегетаційний період перевищує 70-80% повної вологоємності. Грунти, що піддаються постійному або тимчасовому досить тривалому надмірному зволоженню, відносяться до заболочуваних.

В степовій зоні України перезволоження грунтів – явище досить нечасте.

Тільки в окремі роки та в окремі періоди вегетації сільськогосподарських рослин спостерігається перезволоження грунтів.

При перезволоженні грунтів чинні три фактори: застій вологи, наявність анаеробної мікрофлори і органічної речовини, здатної до бродіння.

Надмірне зволоження в грунті вкрай небезпечне для життєдіяльності рослин, тому що у кореневому шарі різко погіршується газообмін, аерація.

При надмірному зволоженні у грунті розвивається анаеробний процес, який сприяє накопиченню закису азоту, що призводить до утворення нітратів, сульфатів, вуглекислого газу, вуглекислоти, окисних форм заліза і марганцю. Різко зменшується мікробіологічна активність грунту; порушується діяльність кореневої системи та регулювання переміщення речовин в рослинах. Все це дуже несприятливо впливає на розвиток рослин: уповільнюється ріст, зменшується кількість репродуктивних органів (озерненість колосу, початків, низька життєдіяльність пилку).

Показниками перезволоження можуть бути агрогідрологічні властивості грунту. Перезволоження виникає у проміжку між повною і найменшою вологоємністю (ПВ-НВ). Для більшості типів грунтів (за винятком важких глинистих безструктурних грунтів) перезволоження викликає волога, що дорівнює найменшій вологоємності. Другим показником перезволоження є повітреносна порізність. Нормальний розвиток кореневої системи проходить за повітреносної порізності 6-8%.

Перезволоження по-різному негативно впливає на ріст і розвиток сільськогосподарських рослин в різні періоди їх розвитку.

Польові дослідження показали, що відносно зернових культур перезволоження в будь-який період негативно впливає на розвиток,

особливо в період формування репродуктивних органів, достигання та збирання зерна.

Негативний вплив перезволоження на рослину залежить від тривалості періоду впливу перезволоження, від величини залишку вологи та фази розвитку рослин.

Агрометеорологічні дослідження показали, що високі і стійкі врожаї зернових можливі тільки у випадку, коли запаси продуктивної вологи протягом всього вегетативного періоду зберігаються в межах оптимальних значень.

Дружні сходи спостерігаються при запасах вологи в грунті в шарі 0-20 см ($W_{0\text{-}20}$) не менше 25-30 мм і не більше 60 мм в період сівби. Добре розвиваються рослини при подальшому збереженні вологи в шарі 0-20 см 25-60 мм. $W_{0\text{-}20} > 65$ мм – вже початок перезволоження, а менше 20 мм – початок посушливих явищ.

В умовах глибокого залягання грунтових вод, коли нема припливу за рахунок капілярного підняття, головним джерелом поповнення запасів продуктивної вологи є опади влітку і восени. Продуктивна волога в метровому шарі грунту є показником умов розвитку рослин. Якщо $W_{0\text{-}100}$ становить 80-120 мм, то умови складаються сприятливі. При $W_{0\text{-}100} > 120$ мм починається перезволоження, особливо в районах з високим стоянням грунтових вод.

Перезволоження в період від виходу в трубку до колосіння приводить до полягання посівів.

Перезволоження в період від колосіння до молочної стиглості викликає полягання хлібів, недостатній розвиток колосків в колосі, загибель пилку та зменшення озерненості колосків.

В період від молочної до повної стиглості посівів перезволоження також викликає полягання посівів, збільшення вологості травостою і погіршення умов обміну речовин у рослині. Крім того, спостерігається вимивання рухливих форм азоту з грунту сильними дощами до і після початку наливу зерна. Особливо це спостерігається на полях з непаровими попередниками. Приклад у *табл.7.5*.

Перезволоження викликає явище «стікання» зерна. Воно обумовлюється значним підвищенням активності гідролітичних ферментів. Утворені водорозчинні осмотично активні речовини збільшують приплив води в зерно і підсилюють подальший гідролітичний розпад запасних речовин, які в решті-решт витікають з зерна або витрачаються на посилене дихання. Явище «стікання» зерна підсилюється поляганням посівів та виникненням численних хвороб.

Таблиця 7.5 – **Вплив надмірного зволоження грунту на величину врожаю зерна (за даними В.С.Шевелухи)**

Вологість грунту у % від ПВ	Вихід зерна по біомасі, %		
	Фази розвитку зернових		
	Кущіння	Вихід у трубку	Налив зерна
Вологість грунту 100%ПВ	40,0	40,9	39,3
Вологість грунту 130%ПВ	40,3	40,6	38,3
Вологість грунту 60-65%ПВ (контроль)	42,6	42,6	42,6

І.В.Свісюком встановлено, що у період формування і наливу зерна збільшення опадів до 80 мм і більше погіршує хід важливіших процесів; зменшує масу 1000 зерен (*табл.7.6*).

Таблиця 7.6 – **Зменшення маси зерна після наступу фази повної стиглості в залежності від кількості опадів (за І.В.Свісюком)**

Сума опадів за період, мм		Зменшення маси зерна у різних зернових,г		
5-31.VII	1-15.VIII		5-31.VII	1-15.VIII
194	83	озима пшениця ярий ячмінь	15 -	10 11
114	63	озима пшениця ярий ячмінь	11 -	9 20
64	2	озима пшениця ярий ячмінь	2 -	7 7

Значні втрати врожаю зернових спостерігаються при проростанні зерна у валках або в стеблестої. Зерно починає проростати, коли закінчується період спокою, при вологості насіння 30-32% та середній температурі в межах 5-14°С. Проросле зерно губить схожість та втрачає якість.

Якщо за період знаходження зерна у валках кількість опадів становить 20 мм і більше, то зерно в валках проростає (*табл.7.7*).

Таблиця 7.7 – **Кількість пророслого зерна (%) в залежності від суми опадів за період знаходження у валках**

Вид валків	Кількість опадів, мм				
	20	40	60	80	100
Стандартні	13	37	52	63	70
Тонкотарові	0	3	10	16	20

7.3 Агрометеорологічна оцінка приморозків

Під приморозком розуміють зниження мінімальної температури нижче 0°С на поверхні грунту або травостою на фоні позитивних середніх добових температур повітря. При цьому температура у метеорологічній будці може бути і вище, і нижче 0°С. Різниця між температурою повітря в метеорологічній будці (на висоті 2 м) і над поверхнею грунту (на висоті 2 см) на рівному відкритому місці становить в середньому 3°С. Це дає можливість оцінювати виникнення приморозку та його інтенсивність над поверхнею грунту або травостою за даними спостереження в будці.

На більшій частині території в межах помірної зони існують два чітко обмежені періоди з приморозками – весняний і осінній. Деяка небезпека приморозків для сільськогосподарських культур виникає відразу після початку вегетації і зростає в міру зростання рослин. Осінні приморозки наступають до закінчення вегетаційного періоду. Вони представляють меншу загрозу для сільського господарства, тому що до тієї пори врожай найчастіше вже зібрано.

Чим далі на північ, тим більше скорочується тривалість періоду між останнім весняним і першим осіннім приморозком. В північних областях безприморозковий період майже відсутній і приморозки спостерігаються навіть протягом літа. На півдні тривалість безприморозкового періоду збільшується: весною приморозки закінчуються раніше, а восени наступають пізніше.

Пошкодження рослин приморозком спостерігається не відразу після зниження температури до 0°С, а лише при досягненні певних негативних значень. Для кожної культури і кожної фази розвитку існує своя межа негативної температури, при якій спостерігається пошкодження або загибель рослин. Таку температуру називають критичною.

В.Н. Степанов [35,36] класифікував головні польові культури по стійкості їх до приморозків і виділив 5 груп (*табл.7.8*).

Таблиця 7.8 – **Класифікація основних сільськогосподарських культур щодо стійкості їх до приморозків в різні періоди онтогенезу (за В.Н.Степановим)**

Культура	Температура початку пошкодження, часткової загибелі рослин, 0°С			Температура загибелі більшості рослин, 0°С		
	сходи	цвітіння	дозрівання	сходи	цвітіння	дозрівання
Найбільш стійкі						
Яр. пшениця	-9,-10	-1,-2	-2,-4	-10,-12	-2	-4
Овес	-8,-9	-1,-2	-2,-4	-9,-11	-2	-4
Ячмінь	-7,-8	-1,-2	-2,-4	-8,-11	-2	-4
Горох	-7,-8	-3	-3,-4	-8,-11	-3,-4	-4
Чечевиця	7,-8	-2,-3	-2,-4	-8,-11	-3	-4
Стійкі						
Нут	-6,-7	-2,-3	-2,-3	-8	-3	-3,-4
Люпин вузьколистий	-5,-6	-2,-3	-3	-6,-7	-3,-4	-3,-4
Боби	-5,-6	-3	-2,-3	-6	-3	-3,-4
Соняшник	-5,-6	-3	-2,-3	-7,-8	-3	-3
Льон, коноплі	-5,-7	-1,-2	-2,-4	-7	-2	-4
Буряки цукрові і кормові	-6,-7	-2,-3	-	-8	-3	-
Середньостійкі						
Соя	-3,-4	-2	-2,-3	-4	-2	-3
Люпин жовтий	-4,-5	-2,-3	-	-6	-3	-
Капуста	-5,-7	-2,-3	-6,-9	-	-	-
Малостійкі						
Кукурудза, сорго	-2,-3	-1,-2	-2,-3	-3	-2	-3
Просо, суданська трава, картопля	-2	-2	-1,-2	-2,-3	-2,-3	-3
Нестійкі						
Гречка	-1,-2	-1	-1.5,-2	-2	-1	-2
Квасоля	-1,-1.5	-0.5	-2	-1,-1.5	-1	-2
Рицина	-1,-2	-1	-2,-3	-1,-2	-1,-2	-3
Бавовна	-0.5	-0.5	-1	-1	-1	-1,-2
Баштанні	-1	-0.5,-1	-0.5,-1	-1	-1	-1
Рис	-0.5,-1	-0.5,-1	-	-1	-0.5	-
Овочеві	-0,-1	0,-1	0,-1	-2	-	-

З *табл. 7.8* видно, що найбільш стійкі до приморозків рослини на початку розвитку, а найменш стійкі – в період формування генеративних органів. В період цвітіння більшість зернових польових культур гине при температурі -2...-3° С.

Приморозки інтенсивністю від 0 до -2°С в період цвітіння плодових культур призводять до загибелі всього врожаю (*табл. 7.9*)

Таблиця 7.9 – **Критичні температури пошкодження різних частин рослин деяких плодоягідних культур**

Культура	Частина рослини, що пошкоджується приморозками	Критична температура
Лимон	Дерево повністю Крона Листя	-9,-10 -7,-8 -6
Апельсин	Дерево повністю Крона Листя	-10,-11 -8,-9 -7
Мандарин	Дерево повністю Крона Листя	-12 -10 -8
Виноград	Закриті бруньки Квіти	-1 0
Яблуня, груша, вишня, слива	Розпукнуті бруньки Квіти Плодова зав′язь	-4 -2 -1
Черешня	Бруньки і квіти Плодова зав′язь	-2 -1
Абрикос, персик	Закриті бруньки Квіти Плодова зав′язь	-2 -3 -1
Малина, полуниці	Квіти і зав′язь	-2

Дослідження О.І. Коровіна показали, що приморозки на початку вегетації справляють велику післядію на ріст, розвиток і врожай рослин. Після інтенсивного приморозку ростові процеси уповільнюються і запізнюється настання наступних фаз розвитку рослин. Приморозок на початку вегетації викликає збільшення тривалості вегетаційного періоду, а наприкінці вегетації – скорочує його. Дія приморозків на врожай

визначається великою кількістю факторів. Перш за все, загроза приморозку для сільськогосподарських культур залежить від тривалості його та інтенсивності, від передуючих йому і наступних агрометеорологічних умов, від біологічних особливостей рослин, їх стану, фази розвитку, засобів агротехніки та ін.

Встановлено, що найбільш небезпечними для сільського господарства є приморозки, які бувають після настання середньої добової температури повітря 15°С або після стійкого переходу її через 10° С.

Г.Т. Селянинов [35] прийшов до висновку, що «... приморозки тим більш небезпечні, чим більш енергійно вегетують рослини при їх появі. Якщо перед приморозком була температура, яка послаблювала вегетацію, то він майже ніякої шкоди не завдає. Тобто, небезпечними для даної культури приморозками будуть ті, що настають після деякого періоду з температурою вище рівня вегетації даної рослини і не менше періоду від сівби до сходів. Вважаючи останній не менше 5 днів для пшениці та вівса і не менше 10 днів для соняшнику, кукурудзи, сорго і баштанних, поява приморозків після 5 днів після наступу середньої добової температури 5^0С для вівса та пшениці і після 10 днів для соняшника та інших, 12°С – для кукурудзи і 15°С для овочевих і баштанних – об'єктивно небезпечна. При цьому, оскільки овес і пшениця легко переносять зниження температури до -5° С, соняшник – до -3° С, а овочеві, кукурудза і баштанні зовсім не переносять негативних температур, то ознакою небезпечності приморозків, окрім часу настання, буде також і вищевказана абсолютна величина їх».

Дослідження О.І.Коровіна і інших авторів показали, що температурні умови перед приморозком певною мірою впливають на стійкість рослин до нього. Низькі середні добові температури перед приморозком сприяють підвищенню стійкості рослин до приморозку і послабляють шкідливу його дію.

Втрати, які наносять сільському господарству пізні весняні приморозки, бувають дуже великими. Тому агрометеорологічна інформація про приморозки має велике практичне значення. Вона широко використовується при вирішенні низки задач сільськогосподарського виробництва. Така інформація необхідна для оцінки заморозконебезпечності території при розміщенні теплолюбних культур, при визначенні найсприятливіших термінів сівби і збирання сільськогосподарських культур, а також при виборі засобів захисту від приморозку.

Оптимальні терміни сівби теплолюбних культур забезпечують появу дружніх сходів, добрий розвиток посівів у подальші періоди. Своєчасність сівби значною мірою визначається температурними умовами верхніх шарів грунту, часом настання і інтенсивністю весняних приморозків.

Визначення найбільш сприятливих термінів сівби теплолюбних культур по температурних умовах обов'язково повинні корегуватися даними про ймовірність настання та інтенсивність приморозків на дату появи сходів.

В зв'язку з тим, що різні види рослин мають неоднакову стійкість до приморозків, визначають терміни та ймовірність припинення приморозків не тільки при 0°С, але і іншої інтенсивності: -2; -3; -4°С. Т.О.Голубова встановила, що ймовірність виникнення приморозків тісно пов'язана з середньою за декаду температурою повітря (*табл.7.10*). Ця залежність дозволяє визначити ймовірність пошкодження приморозками різних сільськогосподарських культур якщо відома їх критична температура.

І.А.Гольцберг [36] також розробила показники ймовірності приморозків. Розрахунки І.А.Гольцберг показали, що навесні в західних районах і на узбережжі морів приморозки закінчуються до переходу середньої добової температури повітря через 5°С. Тому ймовірність пошкодження приморозками сходів тут незначна. В континентальних районах приморозки ніколи не закінчуються раніше переходу температури повітря через 5°С і можуть довго тривати після стійкого переходу температури повітря через 10°С. В цих районах ймовірність пошкодження приморозками зростає.

Метод І.А.Гольцберг дозволяє визначити ймовірність припинення приморозків різної інтенсивності на будь-яку дату і на підставі одержаних результатів визначити ймовірність пошкодження приморозками сходів будь-якої культури у будь-якому районі. Для таких розрахунків необхідно знати середню багаторічну дату припинення приморозків в даному районі і вигляд кривої ймовірності, який визначається значеннями середньо-квадратичного відхилення строків припинення приморозків (σ). І.А.Гольцберг розраховані значення σ для усіх районів СНД і побудовані відповідні карти.

Розрахунки ймовірності припинення приморозків заданої інтенсивності на визначену фазу і ймовірність пошкодження культури весняними приморозками ведуться у такій послідовності:

- по співвідношенню термінів припинення приморозків при 0°С і іншої інтенсивності (*табл.7.11*) визначається середня дата припинення приморозків у даному районі;
- розраховується відхилення визначеної дати від середньої багаторічної (Δ);
- визначається статистичний коефіцієнт шляхом поділу розрахованого відхилення Δ на σ ($k = \Delta / \sigma$), а шляхом інтерполяції – відповідний йому відсоток ймовірності (*табл.7.12*);

– на підставі одержаних результатів визначається можливість припинення приморозків на дану дату і ймовірність пошкодження рослин.

Таблиця 7.10 – **Ймовірність настання приморозків в залежності від середньої за декаду мінімальної температури повітря в помірній зоні, %**

С е з о н	Весна	Осінь	Весна	Осінь	Весна	Осінь
Середня за декаду мінімальна температура повітря, ° С	Сильні приморозки (зниження температури повітря до -3, -5 ° С)		Слабкі приморозки (зниження температури повітря до 0, -2 ° С)		Приморозки на поверхні грунту і травостою	
-5	96					
-4	90	100				
-3	84	96				
-2	77	87	100			
-1	68	78	98			
0	56	68	92	100	100	
1	45	57	85	93	98	100
2	37	47	78	83	95	95
3	29	34	71	73	90	88
4	21	22	62	58	84	80
5	14	12	53	44	76	70
6	7	5	44	30	67	57
7	2	0	34	18	56	44
8	0		24	11	45	27
9			14	7	30	17
10			5	3	17	8
11			0	0	2	1
12					0	0

Таблиця 7.11 – **Співвідношення в датах припинення приморозків при 0°С і приморозків різної інтенсивності**

Середня дата припинення приморозків при 0°С		Середня дата припинення приморозків нижче вказаної інтенсивності			
в повітрі	на поверхні грунту	-1.0°С	-2.0 °С	-3.0 °С	-4.0 °С
1	2	3	4	5	6
1.VI	18.IV	28.V	24.V	20.V	15.V
21.V	7.IV	17.V	13.V	9.V	4.V
11.V	25.V	5.V	30.IV	24.IV	18.IV
1.V	15.V	25.IV	20.IV	14.IV	8.IV
21.IV	5.V	15.IV	10.IV	4.IV	29.III
11.IV	21.IV	6.IV	1.IV	27.III	22.III

Примітка: за даними цієї таблиці можна побудувати графік для більш зручного використання.

Таблиця 7.12 – **Співвідношення ймовірності (%) , коефіцієнтів (*k*) і значень σ**

Ймовірність,%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коефіцієнт	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28	2,25
Відхилення від середньої дати, дні	$\Delta = k \cdot \sigma$										

Приклад: Розрахувати ймовірність припинення приморозків на дату появи сходів гречки, якщо:

поява сходів 10.V

σ =10

середня багаторічна дата припинення приморозків 2.V (≈50%).

Для розрахунку визначається відхилення у днях (Δ) за формулою

$\Delta = k \cdot \sigma$

60%	70%	80%	90%
Δ = 0,25x10=	0,52x10=	0,84x10=	1,28x10=
2,5	5,2	8,4	≈ 13
2.V + 3 = 5.V	7.V	10.V	15.V

Таким чином, на дату появи сходів гречки 10.V ймовірність припинення приморозків становить 80%.

Для ефективної боротьби з приморозками необхідно завчасно знати час їх настання та інтенсивність.

Розроблені теоретичні методи прогнозу приморозків з врахуванням теплового балансу на межі земля-повітря та зміни коефіцієнта обміну з висотою. Але ці методи досить складні. В практиці використовуються інші: метод Михалевського та метод Р.М.Меджитова.

Для складання прогнозу виникнення приморозків використовуються дані вимірювань по психрометру на висоті 2м біля 13 години. Очікувану мінімальну температуру повітря розраховують за формулою:

$$M_n = t' - (t - t')c, \qquad (7.7)$$

а грунту – за формулою:

$$M_г = t' - (t - t')/2c, \qquad (7.8)$$

де t та t' – температура відповідно по сухому та змоченому термометрах;

c – коефіцієнт, який залежить від відносної вологості повітря, його значення наводяться у *табл.7.13*.

Таблиця 7.13 – **Коефіцієнт *c* в залежності від вологості повітря**

Відносна вологість,%	100	95	90	85	80	75	70	65	60
Коефіцієнт *c*	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,8	1,5
Відносна вологість,%	55	50	45	40	35	30	25	20	15
Коефіцієнт *c*	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3

Якщо розраховані значення мінімальної температури повітря і грунту більше 2^0С, то приморозок мало ймовірний; якщо нижче 2^0С, але вище -2^0С – приморозок ймовірний; і якщо мінімальна температура повітря нижче -2^0С, то вночі приморозок буде.

Після 19 год. за середнім сонячним часом прогноз приморозків уточнюється за даними хмарності. Якщо хмарність менше 4 балів, то нічний мінімум температури зменшують на 2^0С; якщо хмарність від 4 до 7 балів – поправок не вводять; якщо більше 7 балів – очікуваний мінімум збільшують на 2^0С.

Наприклад. Температура повітря о 13 год. по сухому термометру (t)=5,4^{0}С; по змоченому – (t')=3^{0}С; відносна вологість повітря – 63%; хмарність о 19 год. – менше 4 балів.

З *табл.7.13* визначається c = 1,7. Очікуваний мінімум температури повітря розраховується за формулою (*7.7*):

$$M_п = 3{,}0 - (5{,}4 - 3{,}0)\cdot 1{,}7 = -1{,}1^0\text{С};$$

грунту – за формулою (*7.8*):

$$M_г = 3{,}0 - (5{,}4 - 3{,}0)/2\cdot 1{,}7 = -5{,}2^0\text{С}.$$

Оскільки хмарність менше 4 балів, то отримані значення $M_п$ і $M_г$ зменшуються на 2^{0}С; $M_п$ = -3,1^{0}С; $M_г$ = -7,2^{0}С. Таким чином, в наступну ніч приморозки будуть і в повітрі і на грунті. Цей метод добре виправдовується у південних районах.

<u>Метод Р.М.Меджитова</u>. Метод розроблено для осушених торф′яно-болотних земель. Для визначення очікуваної мінімальної температури повітря і грунту ($M_п$, $M_г$) на осушених торф′яно-болотних грунтах використовуються формули:

для повітря $$M_п = 0{,}80t + 0{,}09f - 14{,}1 \qquad (7.9)$$

для грунту $$M_г = 0{,}78t + 0{,}11f - 18{,}3, \qquad (7.10)$$

де t і f – температура повітря і відносна вологість о 13 год. або в будь-який інший строк між полуднем і заходом Сонця.

Наприклад. Температура повітря о 13 год. =8,1^0; відносна вологість – 71%.

$$M_п = 0{,}80\cdot 8{,}1 + 0{,}09\cdot 71 - 14{,}1 = -1{,}2^0\text{С}$$

$$M_г = 0{,}78\cdot 8{,}1 + 0{,}11\cdot 71 - 18{,}3 = -0{,}9^0\text{С}$$

Приморозок очікується і в повітрі, і на поверхні грунту.

7.4 Агрометеорологічний аналіз умов і оцінка перезимівлі озимих посівів

Взимку на територіях, де вирощуються озимі культури (жито, пшениця, ячмінь), спостерігаються різні загрозливі для озимини явища: вимерзання, випрівання, видування, випирання, вимокання, льодова кірка. Найчастіше спостерігається загибель рослин від низьких температур, тобто від вимерзання.

Міра пошкодження рослин від вимерзання визначається біологічними особливостями сортів, агрометеорологічними умовами взимку, агрометеорологічними умовами осінньої вегетації та початку зими, коли у зимуючих культур відбувається формування морозостійкості та зимостійкості.

7.4.1 Агрометеорологічні умови вегетації озимих культур восени

Дослідження закономірностей впливу осінніх умов кожного року на ріст, розвиток та зимостійкість рослин мають особливу актуальність і використовуються безпосередньо у практичній роботі агрометеорологів для аналізу та кількісної оцінки, а також складання прогнозів стану озимини на дату припинення їх вегетації.

Найсприятливішими строками сівби вважаються ті строки, які забезпечують оптимальну тривалість періоду осінньої вегетації, необхідну кількість тепла і вологи для рослин, тобто для утворення ними на початку зими від 3 до 6 пагонів кущистості. Особлива увага приділяється формуванню морозостійкості та зимостійкості. Згідно з І.І.Тумановим морозостійкість формується у процесі загартування, який відбувається восени у 2 фази: наприкінці осені і на початку зими. Найсприятливішими умовами у першу фазу загартування є сонячна погода з температурою повітря від 6^0С до 0^0С. Денна температура повинна становити 10...15^0С, нічна – дещо нижче 0^0С та має бути добра вологозабезпеченість посівів.

Друга фаза загартування, після якої озимі витримують морози до -18...-22^0С, здійснюється при негативних температурах -5,-8^0С. Їй також сприяє суха погода.

Якщо рослини восени переросли і напередодні зими мають кущистість більше 6 пагонів, то зимостійкість таких посівів зменшується внаслідок інтенсивного росту восени і втрат цукру.

7.4.2 Агрометеорологічний аналіз умов вимерзання озимих культур

Серед зернових озимих культур найвищу стійкість до несприятливих умов зими має озиме жито, потім озима пшениця, а найменша ця стійкість у озимого ячменю.

Головними елементами, що впливають на перезимівлю рослин, у визначених співвідношеннях є: температура повітря, сніговий покрив, промерзання грунту. Комплексним агрометеорологічним показником впливу всіх факторів на зимуючі рослини є мінімальна температура грунту на глибині залягання вузла кущіння ($t_{вз}$). Якщо мінімальна температура грунту взимку на цій глибині буде нижче ніж критична температура вимерзання ($T_{кр}$), то це викличе загибель або пошкодження озимини від вимерзання. Критична температура вимерзання – це мінімальна температура грунту на глибині вузла кущіння, яка викликає загибель 50% рослин і більше. $T_{кр}$ – кількісно характеризує морозостійкість рослин. Чим нижче $T_{кр}$, тим вище морозостійкість, і навпаки. Вона змінюється в залежності від біологічної морозостійкості сорту, а також від агрометеорологічних умов впродовж зими. Наслідки перезимівлі визначаються співвідношенням між температурою грунту на глибині вузла кущіння ($t_{вз}$) та критичною температурою вимерзання ($T_{кр}$).

Таким чином, оцінюючи агрометеорологічні умови вимерзання озимини, необхідно визначити співвідношення, з одного боку, мінімальної температури грунту на глибині вузла кущіння, а з другого – критичної температури вимерзання. В зв'язку з мінливістю погодних умов краще визначати ці показники щодекадно.

7.4 3 Визначення критичної температури вимерзання

В.М.Лічикакі [37] вважав, що морозостійкість озимих культур залежить , головним чином, від температурних умов в період проходження другої фази загартування. Чим більша сума негативних температур набирається за цей період, тим вища морозостійкість. Тому В.М.Лічикакі запропонував визначати критичну температуру по сумі середніх за добу температур повітря (при відсутності снігового покриву або при невеликому снігові з висотою не більше 2-3см) або по сумі негативних температур грунту на глибині вузла кущіння (при наявності снігу вище 2-3см). Визна-чення критичної температури вимерзання проводиться за даними *табл.7.14*.

Визначення динаміки морозостійкості озимини впродовж зимового періоду В.М.Лічикакі запропонував проводити за розробленими залежностями між $T_{кр}$ та $t_{вз.}$.

Таблиця 7.14 – **Критична температура вимерзання озимини в залежності від температурних умов в період проходження другої фази загартування (згідно з В.М.Лічикакі)**

Сума середніх за декаду температур повітря або мінімальних температур грунту на глибині вузла кущіння за період між датами переходу температури повітря через 0°С і 10°С	Критична температура вимерзання	
	обчислена за сумою середньодобових температур повітря	обчислена за сумами мінімальних температур грунту на глибині вузла кущіння
0	-11,0	-13,5
-5	-12,5	-14,5
-10	-13,5	-15,0
-15	-14,5	-16,0
-20	-15,0	-16,5
-25	-15,5	-17,0
-30	-16,0	-17,0
-35	-16,5	-17,5
-40	-17,0	-17,5
-45	-17,5	-18,0
-50	-18,0	-18,0
-55	-18,0	-18,0
-60	-18,5	-18,5
-65	-18,5	-18,5
-70	-19,0	-19,0

Ці залежності для добре розвинених посівів визначаються нелінійними рівняннями. Для озимої пшениці середньої морозостійкості (сорти типу “Українка”, “Ерітроспермум 15”) рівняння зв’язку буде:

$$T_{кр} = -14{,}056 + 1{,}916\bar{t}_{вз} + 0{,}17\bar{t}_{вз}^{2} \qquad (7.11)$$

для сортів типу “Одеська 3”, “Одеська 12”:

$$T_{кр} = -13{,}929 + 2{,}45\bar{t}_{вз} + 0{,}191\bar{t}_{вз}^{2} \qquad (7.12)$$

для озимого жита (“Харківське 55”, ” Харківське 194”, ” Вержбинське”):

$$T_{кр} = -14{,}00 + 2{,}65\bar{t}_{вз} + 0{,}14\bar{t}_{вз}^{2} \qquad (7.13)$$

для озимого ячменю:

$$T_{кр} = -9{,}25 + 3{,}263\bar{t}_{вз} + 0{,}488\bar{t}_{вз}^{2} \qquad (7.14)$$

На підставі цих рівнянь В.М.Лічикакі складена шкала визначення $T_{кр}$ (*табл.7.15*).

Таблиця 7.15 – **Критична температура вимерзання ($T_{кр}$) озимих культур в залежності від середньої з мінімальних температур грунту на глибині вузла кущіння ($\bar{t}_{вз}$)**

Середнє значення мінімальної температури грунту на глибині вузла кущіння	Пшениця з морозостійкістю			жито	ячмінь
	вище середньої	середньою	нижче середньої		
0	-14,0	-14,0	-12,0	-14,0	-9,2
-0,6	-15,2	-15,1	-13,1	-15,5	-11,0
-1,2	-16,6	-16,1	-14,1	-16,8	-12,4
-1,8	-17,7	-16,9	-14,9	-18,3	-13,5
-2,4	-18,8	-17,7	-15,7	-19,5	-14,3
-3,0	-19,6	-18,3	-16,3	-20,7	-14,6
-3,6	-20,3	-18,7	-16,7	-21,8	-14,8
-4,2	-20,8	-19,1	-17,1	-22,7	-
-4,8	-21,2	-19,2	-17,2	-23,4	-
-5,4	-21,6	-19,4	-17,4	-24,2	-
-6,0	-22,0	-19,5	-17,5	-24,9	-

Визначення температури грунту на глибині вузла кущіння озимих культур та багаторічних трав здійснюється за допомогою електро-термометра АМ-29А, АМ-2М та максимально-мінімального термометра

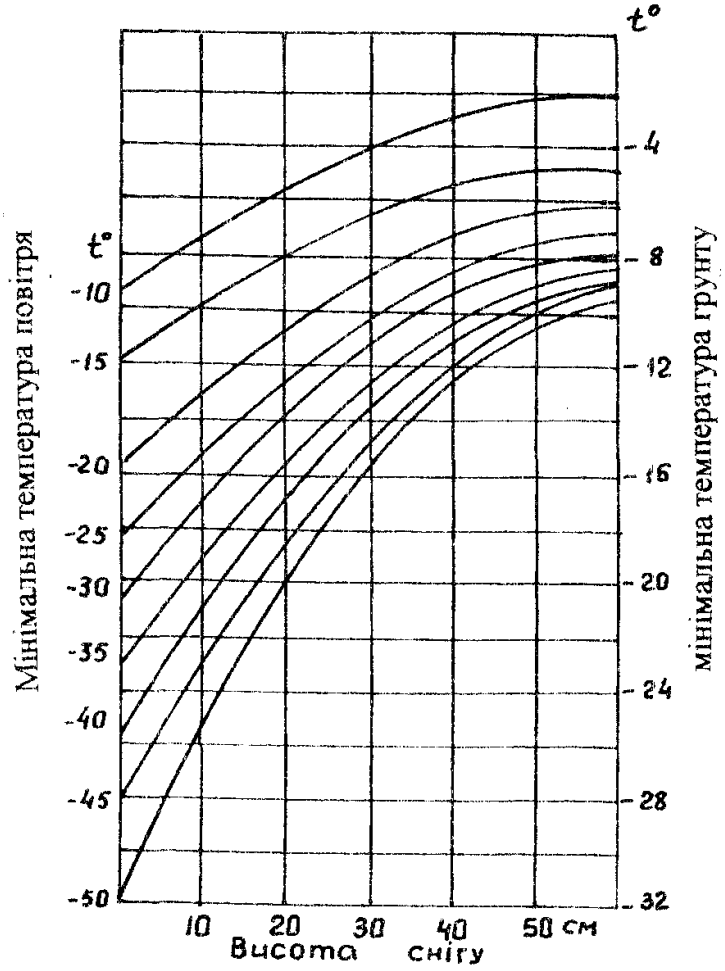


Рис.7.2 – **Залежність мінімальної температури грунту на глибині вузла кущіння від мінімальної температури повітря та висоти снігу.**

АМ-17. У цих приладах вимірювання мінімальної температури здійснюється за допомогою транзисторного електротермометра ТЕТ-2. Крім того, в оперативній роботі використовуються методи, які дозволяють визначити мінімальну температуру грунту на глибині вузла кущіння за допомогою статистичних залежностей: це методи Н.В.Перегудова, О.М.Шульгіна. В.М.Лічикакі, В.О.Мойсейчик.

За даними Н.В.Перегудова [38,39,40] мінімальна температура на глибині вузла кущіння визначається в залежності від мінімальної температури повітря (t), висоти (h) та щільності (d) снігового покриву на день розрахунків:

$$y = 1{,}80 - 0{,}178h + 0{,}18\cdot 0{,}02h^2 - 0{,}06\cdot 0{,}004h^3 + 0{,}59t - 1{,}77\cdot 0{,}02th^2 - 0{,}59\cdot 0{,}000001th^3 \qquad (7.15)$$

Визначення шуканої величини краще проводити за *табл.7.16*. Потім з *табл.7.17* та *7.18* вносяться поправки на середню температуру повітря і щільність снігу за минулу декаду. Поправку *(x)* на висоту снігу *(H)* за минулу декаду також розраховують за формулами:

а) в листопаді – $x = 0{,}02(H-h)$ (7.16)

б) в грудні, січні, лютому – $x = -0{,}17\,(H-h)$ (7.17)

в) в березні – $x = 0{,}42(H-h)$, (7.18)

де H – висота снігу за попередню декаду.

О.М.Шульгін запропонував визначати температуру на глибині вузла кущіння графічно в залежності від мінімальної температури повітря та висоти снігу (*рис.7.2*).

В.М.Лічикакі запропонував визначати температуру на глибині вузла кущіння за графіком або за складеною за ним *табл.7.19* в залежності від висоти снігу та температури повітря. Залежності Лічикакі розраховані для території України [38] .

В.О.Мойсейчик враховувала поряд з впливом на температуру грунту на глибині вузла кущіння мінімальної температури повітря (t) і висоти снігового покриву також і вплив попередніх умов, тобто глибину промерзання грунту (x). Шукана величина (y) визначається за відповідними рівняннями:

Для висоти снігу:

$h = 5$см $\quad y = 0{,}64t - 0{,}07x + 5{,}2$; (7.19)

$h = 10$ см $\quad y = 0{,}15t - 0{,}06x + 0{,}48$; (7.20)

$h = 15$ см $\quad y = 0{,}17t - 0{,}06x + 1{,}9$; (7.21)

$h = 20$ см $\quad y = 0{,}12t - 0{,}05x + 1{,}56$ (7.22)

Таблиця 7.16 – **Температура грунту на глибині вузла кущіння в залежності від мінімальної температури повітря та висоти снігового покриву**

$t_{мін}$, °C	Висота снігового покриву, см																			
	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76
-10	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1
-12	-5,3	-5,1	-5,0	-4,9	-4,8	-4,7	-4,6	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,3	-4,3	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
-14	-6,5	-6,2	-5,9	-5,7	-5,5	-5,3	-5,2	-5,0	-4,9	-4,8	4,6	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,3	-4,3	-4,2	-4,2	-4,2
-16	-7,6	-7,2	-6,9	-6,5	-6,2	-5,9	-5,7	-5,4	-5,2	-5,1	4,9	-4,8	-4,6	-4,5	-4,4	-4,4	-4,3	4,3	-4,2	-4,2
-18	-8,8	-8,3	-7,8	-7,4	-6,9	-6,5	-6,2	-5,9	-5,6	-5,4	-5,2	-5,0	-4,8	-4,7	-4,5	-4,4	-4,4	-4,3	-4,3	-4,2
-20	-10,0	-9,3	-8,7	-8,1	-7,6	-7,1	-6,7	-6,3	-6,0	-5,7	-5,4	-5,2	-5,0	-4,8	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,3	-4,2
-22	-11,2	-10,4	-9,6	-8,9	-8,3	-7,7	-7,2	-6,8	-6,4	-6,0	-5,7	-5,4	-5,1	-4,9	-4,7	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3	-4,2
-24	-12,3	-11,4	-10,5	-9,7	-9,0	-8,3	-7,7	-7,2	-6,7	-6,3	-5,9	-5,6	-5,3	-5,1	-4,8	-4,7	-4,5	-4,4	-4,3	-4,3
-26	-13,5	-12,4	-11,5	-10,5	-9,7	-9,0	-8,3	-7,6	-7,1	-6,6	-6,2	-5,8	-5,5	-5,2	-4,9	-4,7	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3
-28	-14,7	-13,5	-12,4	-11,3	-10,4	-9,6	-8,8	-8,1	-7,6	-6,9	-6,4	-6,0	-5,6	-5,3	-5,0	-4,8	-4,6	-4,5	-4,4	-4,3
-30	-15,9	-14,5	-13,3	-12,1	-11,1	-10,2	-9,3	-8,5	-7,8	-7,2	-6,7	-6,2	-5,8	-5,4	-5,1	-4,9	-4,7	-4,5	-4,4	-4,3
-32	-17,1	-15,6	-14,2	-13,0	-11,8	-10,8	-9,8	-9,0	-8,2	-7,5	-6,9	-6,4	-6,0	-5,6	-5,2	-5,0	-4,7	4,6	-4,4	-4,3
-34	-18,2	-16,6	-15,1	-13,8	-12,5	-11,4	-10,3	-9,4	-8,6	-7,8	-7,2	-6,6	-6,1	-5,7	-5,3	-5,0	-4,8	-4,6	-4,5	-4,3
-36	-19,4	-17,7	-16,0	-14,6	-13,2	-12,0	-10,7	-9,8	-9,0	-8,1	-7,4	-6,8	-6,3	-5,8	-5,4	-5,1	-4,9	-4,6	-4,5	-4,4

Таблиця 7.17 – **Поправка на середню температуру повітря за минулу декаду**

$t_{мін}$, °C	Середня температура повітря за минулу декаду, ^{0}C																				
	-0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22	-24	-26	-28	-30	-32	-34	-36	-38	-40
-10	2,6	2,0	1,5	1,0	0,5	-0,1	-0,6	-1,1	-1,6	-2,2	-2,7	-3,2	-3,8	-4,3	-4,8	-5,3	-5,9	-6,4	-6,9	-7,4	-8,0
-12	2,8	2,3	1,8	1,3	0,7	0,2	-0,3	-0,8	-1,4	-1,9	-2,4	-2,9	-3,5	-4,0	-4,5	-5,0	-5,6	-6,1	-6,5	-7,2	-7,7
-14	3,1	2,6	2,1	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,6	-1,1	-1,6	-2,2	-2,7	-3,2	-3,7	-4,2	-4,8	-5,3	-5,8	-6,3	-6,9	-7,4
-16	3,4	2,9	2,4	1,8	1,3	0,8	0,2	-0,3	-0,8	-1,3	-1,9	-2,4	-2,9	-3,4	-4,0	-4,5	-5,0	-5,5	-6,1	-6,6	-7,1
-18	3,7	3,2	2,6	2,1	1,6	1,1	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,6	-2,1	-2,6	-3,1	-3,7	-4,2	-4,7	-5,3	-5,8	-6,3	-6,8
-20	4,0	3,4	2,9	2,4	1,9	1,3	0,8	0,3	-0,2	-0,7	-1,3	-1,8	-2,3	-2,9	-3,4	-3,9	-4,5	-5,0	-5,5	-6,0	-6,6
-22	4,2	3,7	3,2	2,7	2,1	1,6	1,1	0,6	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,6	-3,1	-3,6	-4,2	-4,7	-5,2	-5,7	-6,3
-24	4,5	4,0	3,5	3,0	2,4	1,9	1,4	0,8	0,3	-0,2	-0,7	-1,2	-1,8	-2,3	-2,8	-3,4	-3,9	-4,4	-4,9	-5,5	-6,0
-26	4,8	4,3	3,8	3,2	2,7	2,2	1,7	1,1	0,6	0,1	-0,4	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,1	-3,6	-4,1	-4,7	-5,2	-5,7
-28	5,1	4,6	4,0	3,5	3,0	2,5	1,9	1,4	0,9	0,4	-0,2	-0,7	-1,2	-1,7	-2,3	-2,8	-3,3	-3,8	-4,4	-4,9	-5,5
-30	5,4	4,8	4,3	3,8	3,3	2,7	2,2	1,7	1,2	0,6	0,1	-0,4	-0,9	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,6	-4,1	-4,6	-5,1
-32	5,7	5,1	4,6	4,1	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5	0,9	0,4	-0,1	-0,6	-1,2	-1,7	-2,5	-2,8	-3,3	-3,8	-4,3	-4,9
-34	5,9	5,4	4,9	4,4	3,8	3,3	2,8	2,3	1,7	1,2	0,7	0,2	-0,4	-0,9	-1,4	-1,9	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-4,6
-36	6,2	5,7	5,2	4,6	4,1	3,6	3,1	2,5	2,0	1,5	0,9	0,4	-0,1	-0,6	-1,1	-1,7	-2,2	-2,7	-3,2	-3,8	-4,3
-38	6,4	6,0	5,5	4,9	4,4	3,9	3,4	2,8	2,3	1,8	1,2	0,7	0,2	-0,3	-0,9	-1,4	-1,9	-2,4	-3,0	-3,5	-4,0
-40	6,8	5,3	5,7	5,2	4,7	4,2	3,6	3,1	2,6	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0	-0,6	-1,1	-1,6	-2,1	-2,7	-3,2	-3,7

Таблиця 7.18 – **Поправка (*x*) на щільність снігу (*d*)**

За попередню декаду				Щільність сн							
Висота снігу *h*, см		$t_{мін}$, °С		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
от	до	от	до								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Листопад											
0	10	0	-10,0	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
		-10,1	-20,0	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
		-20,1	-30,0	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
		-30,1	-40,0	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
11	20	0	-10,0	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3
		-10,1	-20,0	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3
		-20,1	-30,0	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3
		-30,1	-40,0	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3
21	30	0	-10,0	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1
		-10,1	-20,0	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1
		-20,1	-30,0	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,0
		-30,1	-40,0	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0
31	40	0	-10,0	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1
		-10,1	-20,0	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1
		-20,1	-30,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2
		-30,1	-40,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2
41	50	0	-10,0	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3
		-10,1	-20,0	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4
		-20,1	-30,0	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4
		-30,1	-40,0	-1,1	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4
Грудень											
0	10	0	-10,0	2,2	1,3	0,4	-0,5	-1,4	-2,3	-3,2	-4,1
		-10,1	-20,0	2,6	1,6	0,7	-0,2	-1,1	-2,0	-2,9	-3,8
		-20,1	-30,0	2,8	1,9	1,0	0,1	-0,8	-1,7	-2,6	-3,5
		-30,1	-40,0	2,5	2,2	1,3	0,4	-0,5	-1,4	-2,3	-3,2
11	20	0	-10,0	2,4	1,6	0,7	-0,2	-1,1	-2,0	-2,9	-3,8
		-10,1	-20,0	2,8	1,9	1,0	0,1	-0,8	-1,7	-2,6	-3,5
		-20,1	-30,0	3,0	2,2	1,3	0,4	-0,7	-1,4	-2,3	-3,2
		-30,1	-40,0	3,4	2,5	1,6	0,4	-0,2	-1,1	-2,0	-2,9
21	30	0	-10,0	2,7	1,8	0,9	0,0	-0,8	-1,7	-2,6	-3,5
		-10,1	-20,0	3,1	2,2	1,3	0,4	-0,5	-1,4	-2,3	-3,2
		-20,1	-30,0	3,4	2,5	1,6	0,7	-0,2	-1,1	-2,0	-2,9
		-30,1	-40,0	3,7	2,8	1,9	1,0	0,1	-0,8	-1,7	-2,6

Продовження таблиці 7.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
31	40	0	-10,0	3,0	2,1	1,2	0,3	-0,5	-1,4	-2,3	-3,2
		-10,1	-20,0	3,4	2,5	1,6	0,7	-0,2	-1,4	-2,0	-2,9
		-20,1	-30,0	3,7	2,8	1,9	1,0	-0,1	-0,8	-1,7	-2,6
		-30,1	-40,0	4,0	3,1	2,2	1,3	-0,4	-0,5	-1,4	-2,3
41	50	0	-10,0	3,3	2,4	1,5	0,6	-0,2	-1,1	-2,0	-2,9
		-10,1	-20,0	3,7	2,8	1,9	1,0	0,1	-0,8	-1,7	-2,6
		-20,1	-30,0	4,0	3,1	2,2	1,3	0,4	-0,5	-1,4	-2,3
		-30,1	-40,0	4,3	3,4	2,5	1,6	0,7	-0,2	-1,1	-2,0
Березень											
0	10	0	-10,0	2,9	2,0	1,2	0,4	-0,5	-1,3	-2,2	-
		-10,1	-20,0	3,1	2,3	1,5	0,6	-0,2	-1,1	-1,9	-
		-20,1	-30,0	3,4	2,5	1,7	0,9	0,0	-0,8	-1,6	-
		-30,1	-40,0	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3	-0,6	-2,5	-
11	20	0	-10,0	3,1	2,3	1,4	0,6	-0,2	-1,1	-1,9	-
		-10,1	-20,0	3,4	2,5	1,7	0,8	0,0	-1,7	-2,5	-
		-20,1	-30,0	3,6	2,8	1,9	1,1	0,2	-0,6	-1,4	-
		-30,1	-40,0	3,9	3,0	2,2	1,3	0,5	-0,3	-1,2	-
21	30	0	-10,0	3,3	2,5	1,6	0,8	0,0	-0,9	-1,7	-
		-10,1	-20,0	3,6	2,7	1,9	1,1	0,2	-0,6	-1,5	-
		-20,1	-30,0	3,8	3,0	2,2	1,3	0,5	-0,4	-1,2	-
		-30,1	-40,0	4,1	3,2	2,4	1,6	0,7	-0,1	-1,9	-
31	40	0	-10,0	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2	-0,6	-1,5	-
		-10,1	-20,0	3,8	3,0	2,1	1,3	0,4	-0,4	-1,2	-
		-20,1	-30,0	4,1	3,2	2,4	1,5	0,7	-0,1	-0,9	-
		-30,1	-40,0	4,3	3,5	2,6	1,8	0,9	-0,1	-0,7	-
41	50	0	-10,0	3,8	2,9	2,1	1,4	0,4	-0,4	-1,3	-
		-10,1	-20,0	4,0	3,2	2,4	1,5	0,7	-0,2	-1,0	-
		-20,1	-30,0	4,3	3,4	2,6	1,8	0,9	0,1	-0,7	-
		-30,1	-40,0	4,5	3,7	2,8	1,9	1,1	0,3	-0,5	-

Таблиця 7.19 – **Мінімальна температура грунту на глибині вузла кущіння в залежності від середньої за декаду (добу) температури повітря та висоти снігового покриву**

t середня, °С	**Висота снігового покриву, см**															
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
-1	-0,6	-0,5	-0,4	-,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2	-1,3	-1,2	-1,1	-0,8	-0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-4	-3,0	-2,7	-2,0	-1,1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
-6	-4,8	-4,3	-3,8	-3,3	-2,6	-2,0	-1,8	-1,7	-1,5	-1,4	-1,3	-1,2	-1,2	-1,0	-1,0	-1,0
-8	-5,6	-5,9	-5,2	-4,5	-3,8	-3,6	-2,8	-2,7	-2,6	-2,4	-2,2	-2,1	-2,0	-2,0	-2,0	-1,9
-10	-8,2	-7,4	-6,6	-5,8	-4,5	-4,1	-3,9	-3,8	-3,0	-2,9	-2,8	-2,8	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6
-12	-10,	-9,0	-8,0	-7,0	-6,1	-5,1	-4,9	-4,8	-4,6	-4,3	-4,0	-3,8	-3,7	-3,5	-3,5	-3,4
-14	-11,7	-10,5	-9,4	-8,4	-7,2	-6,2	-6,0	-5,9	-5,6	-5,2	-4,8	-4,7	-4,6	-4,5	-4,3	-4,2
-16	-13,7	-12,0	-10,7	-9,4	-8,3	-7,2	-7,0	-6,9	-6,7	-6,1	-5,7	-5,6	-5,5	-5,3	-5,2	-5,1
-18	-15,2	-13,7	-13,2	-10,9	-9,6	-8,3	-8,1	-8,0	-7,6	-7,1	-6,6	-6,4	-6,3	-6,1	-6,0	-5,8
-20	-16,9	-15,2	-13,5	-12,7	-10,8	-9,3	-9,1	-9,0	-8,6	-8,1	-7,6	-7,3	-7,2	-7,0	-6,9	-6,7
-22	-18,5	-16,7	-15,0	-13,4	-11,9	-10,4	-10,2	-10,1	-9,7	-8,5	-8,2	-8,1	-7,9	-7,6	-7,3	-7,2
-24	-20,3	-18,3	-16,4	-14,6	-13,0	-11,4	-11,2	-11,1	-10,0	-9,3	-9,1	-9,1	-9,0	-8,9	-8,7	-8,4
-26	-22,0	-19,9	-17,8	-15,9	-14,0	-12,4	-12,3	-12,2	-11,7	-11,0	-10,2	-10,0	-9,9	-9,7	-9,4	-9,2
-28	-23,8	-21,5	-19,2	-17,1	-15,3	-13,5	-13,3	-13,2	-12,8	-11,9	-11,1	-10,9	-10,7	-10,5	-10,2	-10,0
-30	-25,0	-23,1	-20,6	-18,4	-16,5	-14,5	-14,1	-14,0	-13,8	-12,9	-12,0	-11,8	-11,6	-10,9	-10,7	-10,6

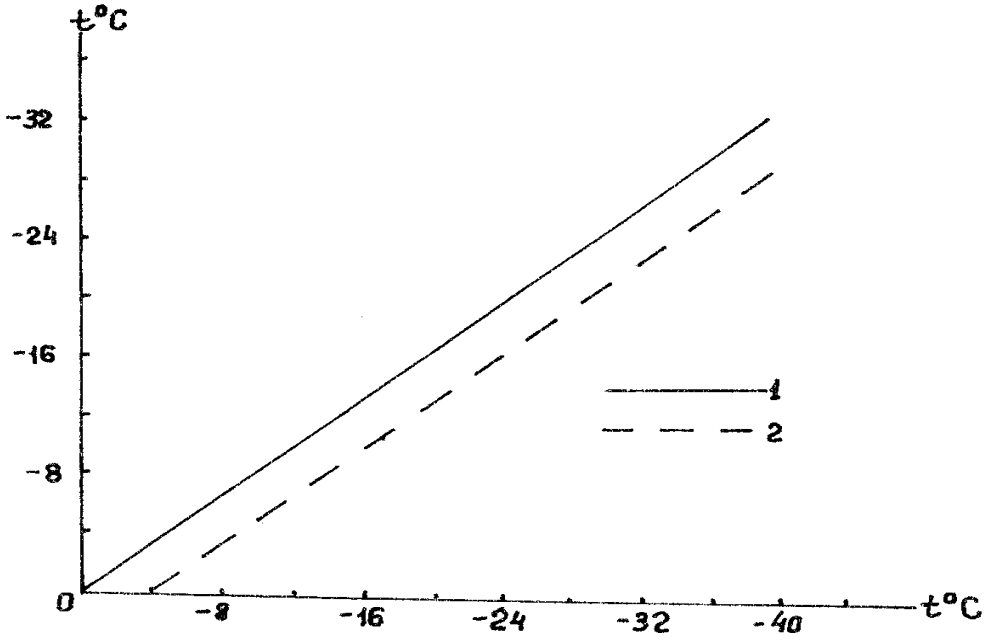


Рис.7.3 – **Залежність мінімальної температури грунту на глибині 3 см від мінімальної температури повітря за відсутності снігового покриву і промерзання грунту: більше 30 см (1) і менше 30 см (2).**

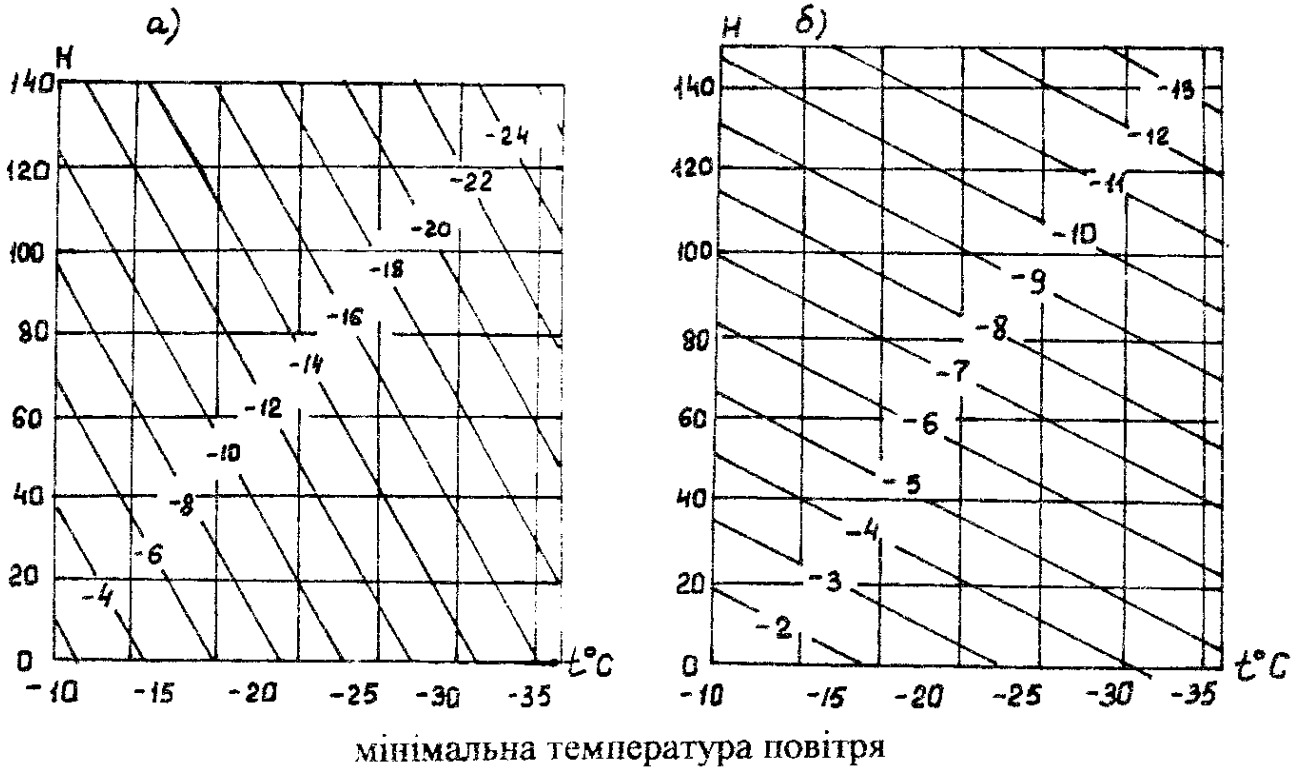


Рис.7.14 – **Залежність мінімальної температури грунту на глибині 3 см від мінімальної температури повітря і глибини промерзання грунту за висоти снігового покриву: 5 см (*а*) і 10 см (*б*).**

За відсутності снігового покриву запропоновані такі рівняння:
при глибині промерзання грунту менше 30см:

$$y = 0{,}76t + 2{,}88\ ; \qquad (7.23)$$

при глибині промерзання грунту 30-60см:

$$y = 0{,}81t + 0{,}26 \qquad (7.24)$$

Прискорення розрахунків проводиться за допомогою графічних залежностей (*рис.7.3, 7.4*), отриманих за рівняннями (*7.19 – 7.22*).

Кількісна оцінка умов вимерзання та визначення його періодів проводиться за допомогою запропонованого В.М.Лічикакі коефіцієнта морозонебезпечності (*К*). Він визначається як співвідношення мінімальної (абсолютний мінімум) температури грунту на глибині вузла кущіння ($t_{вз}$) до критичної температури вимерзання ($T_{кр.}$), тобто:

$$K = t_{вз.}/T_{кр} \qquad (7.25)$$

На підставі цього рівняння складена шкала загибелі озимини в залежності від величини коефіцієнта морозонебезпечності (*табл.7.20*).

Як виходить з *табл.7.20*, чим нижче *К*, тим сприятливіші умови перезимівлі, та, навпаки, при зростанні значень *К* зростає ймовірність загибелі озимих культур від вимерзання.

В.О.Мойсейчик та В.О.Шавкуновою встановлено, що наслідок перезимівлі (зрідженість посівів) озимої пшениці та жита визначається в залежності від мінімальної температури грунту на глибині 3 см та міри розвитку озимих восени. Авторами розроблені таблиці визначення зрідженості посівів (%) в залежності від фази розвитку, сорту та коефіцієнта кущіння (*табл.7.21* – озима пшениця, *табл.7.22-7.23* – озиме жито).

В.О.Шавкуновою запропоновано розраховувати характеристику (оцінку) умов перезимівлі озимого жита за мінімальною температурою повітря, розвитком його восени (кущистістю, *k*) та висотою снігу. Оцінка умов наводиться у *табл.7.21* та *табл.7.22*.

Таблиця 7.20 – **Коефіцієнт морозонебезпечності (*К*) і відповідний йому ступінь загибелі озимих (пшениці і ячменю) культур (*М*), %**

К		*(М)*, %
озима пшениця	озимий ячмінь	
0,55 – 0,75	0,45 – 0,68	1 – 20
0,76 – 0,87	0,69 – 0,79	21 – 40
0,88 – 0,96	0,80 – 0,88	41 – 60
≥ 0,97	≥ 0,89	≥ 61

Таблиця 7.21 – **Зрідженість (%) посівів озимої пшениці в залежності від мінімальної температури грунту на глибині 3 см і міри розвитку рослин**

Сорт	Фаза розвитку	Пороги мінімальної темперутури грунту, °С									
		-5	-10	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
Безоста 1	сходи – 3-й лист	0	12	30	40	50	100	100	100	100	100
	кущіння	0	4	12	18	25	50	100	100	100	100
Миронівська 808	сходи – 3-й лист	0	8	25	30	35	50	70	100	100	100
	кущіння	0	4	8	10	15	30	50	75	95	100

Таблиця 7.22 – **Зрідженість (%) посівів озимого жита сортів Саратовське-1, Саратовське-4, Саратовське крупнозерне від мінімальної температури грунту на глибині вузла кущіння та розвитку рослин восени**

Коефіцієнт кущіння (*k*)	Мінімальна температура грунту на глибині 3 см, °С							
	-10	-15	-20	-21	-22	-23	-24	-25
1	8	9	28	34	40	46	56	65
2	4	5	24	30	37	44	52	62
3	2	3	22	30	35	42	50	59
4	2	2	21	27	34	41	50	58
5	2	2	22	28	35	42	50	59

Загальна залежність зрідженості посівів на весну від мінімальної температури грунту на глибині 3 см та коефіцієнта кущіння (k) має нелінійний характер і для різних сортів виражається рівняннями:

озима пшениця:

Миронівська 808 – $\lg U = 2{,}66 \lg t_3 - 0{,}129 \lg k - 1{,}733$; (7.26)

Безоста 1 – $U = 2{,}51^{0{,}269(t_3 - 5)}$; (7.27)

жито:

Харківське 55,56, Вятка –

$$U = 9{,}484 t_3 + 0{,}374 t_3^2 + 70{,}181 \; ; \qquad (7.28)$$

Саратовські сорти:

$$U = 9{,}003 t_3 + 0{,}365 t_3^2 - 5{,}536 k + 0{,}693 k^2 + 66{,}411 \qquad (7.29)$$

В.О.Шавкуновою також розроблена оцінка умов перезимівлі озимого жита з врахуванням різних показників (*табл.7.23*).

Таблиця 7.23 – **Оцінка умов перезимівлі озимого жита Саратовських сортів за головними агрометеорологічними показниками**

Агрометеорологічний чинник	Міра розвитку рослин (k)					
	погано розвинені ($k<2$) підсів пересів		добре розвинені (k=3) підсів пересів		перерослі (k=4–5) підсів пересів	
	глибина промерзання грунту 60 см					
Мінімальна температура повітря без снігу, °С	-26	-29	-26	-30	-26	-30
Мінімальна температура повітря, при висоті снігу 1–5 см, °С	-34	-35	-37	-38	-34	-39
	глибина промерзання грунту 100 см					
Мінімальна температура повітря, при висоті снігу 1–5 см, °С	-30	-33	-30	-35	-30	-35

Приклад розрахунку стану посівів після перезимівлі наводиться у *табл.7.24*.

Неодхідно розрахувати площу посівів, зріджених на 30%, 30-50% та більше 50% на станції Фастів Київської області.

Таблиця 7.24 – **Приклад розрахунку зрідженості озимини на ст.Фастів Київської області**

Озима пшениця, сорт Миронівська 808

Агрометеорологічна інформація	Грудень			Січень			Лютий	
	1	2	3	1	2	3	1	2
Середня кущистість посівів	3 пагони							
Кількість стебел на 1 м^2	1000							
Мінімальна температура повітря, t^{0}C	-20	-16	-30	-25	-18	-30	-25	-20
Мінімальна температура грунту на глибині 3 см, t_3 °C	-10	-8	-18	-10	-8	-10	-7	-7
Висота снігового покриву за снігозйомкою, h см	0	1	8	10	10	16	21	20
Середня висота снігового покриву за снігозйомкою, $\overline{h}$ см	0	1	9	10	12	15	20	25
Кількість промірів з висотою h:								
0 см	100	47	2	1	1	1	0	0
1-3 см	0	33	7	4	3	2	0	0
4-6 см	0	17	15	12	9	5	2	1
7-10 см	0	4	38	37	29	17	9	3
Глибина промерзання грунту, см	20	30	50	70	85	100	110	120
Зрідженість посіву за рівняням (*7.26*)	4	2	30	4	2	4	1	1
Температура грунту та висота снігового покриву при яких посіви зріджуються на								
30%	-18°C, 8см							
50%	-19°C, 5см							
>50%	нижче –19°C, 4см							
Площа поля (%) із зрідженістю навесні								
≤30%	42							
50%	29							
>50%	13							

7.5 Оцінка полягання посівів

Серед зернових культур особливо часто спостерігається полягання ячменю та озимого жита. Зазнають полягання також деякі сорти озимої пшениці. Незважаючи на те, що на цей час виведено багато сортів, стійких до полягання, на великих площах продовжують вирощувати слабо та середньостійкі до полягання сорти. Особливо багато посівів полягає у дощові роки. Полягання ускладнює збирання хлібів, значно підвищує витрати та збільшує тривалість періоду збирання хлібів. Для вирішення цієї проблеми необхідно давати кваліфіковану оцінку агрометеорологічних умов, які призводять до полягання, та своєчасно інформувати про це сільськогосподарські організації.

Методи оцінки агрометеорологічних умов полягання зернових розроблені О.Д.Пасечнюком для міжфазних періодів: вихід у трубку-цвітіння, цвітіння-воскова стиглість для озимих культур, а також кущіння-колосіння та колосіння-воскова стиглість для ярих. Ці міжфазні періоди вибрані тому, що полягання зернових найчастіше спостерігається якраз у ці періоди, оскільки в цей час рослини мають найбільшу масу і навантаження на нижню частину стебла наближається до критичного значення. До виходу в трубку озимих і ярих, а також після настання воскової стиглості зерна, вплив агрометеорологічних умов на стійкість культур до полягання проявляється дуже слабко.

Озима пшениця. Як методичну основу для оцінки агрометеорологічних умов було взято дискримінантний аналіз.

Міра полягання посівів визначається через відношення (у відсотках) площі полеглих посівів до всієї площі поля. Посіви вважаються полеглими, якщо на 10% всієї площі поля вони полягли.

Стійкість озимої пшениці до полягання тісно пов′язана з температурою повітря і кількістю опадів, особливо зливових. Тому для оцінки агрометеорологічних умов формування стійкості до полягання озимої пшениці використовувались тільки ці показники.

Було отримано дискримінантне рівняння для розрахунку площі полягання виду:

$$L = 1{,}281 - 0{,}127t + 0{,}005\sum P, \qquad (7.30)$$

де t – середня за добу температура повітря, ^{0}C;

$\sum P$ – сума опадів, мм.

Якщо функція L буде з від′ємним знаком, то полягання не буде; якщо з позитивним – полягання відбудеться.

О.Д. Пасечнюком встановлено: якщо за період від виходу в трубку до цвітіння ГТК (розрахований за методом Г.Т.Селянинова) менше 1,0, то посіви або зовсім не полягають, або полягають на незначних площах (<10%).

Озиме жито. Так, як і для озимої пшениці, для озимого жита оцінка умов виконується за значеннями температури повітря і суми опадів за рівнянням:

$$L = 0{,}724 - 0{,}07t + 0{,}003\sum P \qquad (7.31)$$

Якщо $L > 0$, то складаються несприятливі умови для формування стійкого до полягання стеблестою озимого жита, якщо ж $L < 0$ – навпаки.

Для полегшення розрахунків оцінки умов формування стійкості до полягання посівів озимого жита використовується *табл.7.25*.

Таблиця 7.25 – **Оцінка впливу метеорологічних умов на полягання посівів ячменю у періоди кущіння-колосіння та колосіння-воскова стиглість**

Амплітуда температури повітря, ^{0}C	Ймовірність полягання, %				
	дуже сильного (1-1,9бали)	сильного (2-2,9бали)	середнього (3-3,9бали)	слабкого (4-4,9бали)	відсутнє полягання, %
	а) кущіння-колосіння				
8,5-11,5	5	23	23	21	28
11,6-12,0	3	7	13	27	50
12,1-13,0	-	5	3	16	76
>13,0	-	-	-	9	91
Кількість опадів, мм	б) колосіння-воскова стиглість				
>60	6	21	29	27	17
41-60	-	16	19	34	31
20-40	-	-	-	33	67
<20	-	-	-	-	100

Яра пшениця. Оцінка агрометеорологічних умов формування стійкості до полягання слабостійких сортів ярої пшениці у період кущіння-колосіння виконується за допомогою рівняння:

$$L = 0{,}69 - 0{,}64t + 0{,}16\sum P, \qquad (7.32)$$

де t – середньодобова температура повітря за вказаний міжфазний період, ^{0}С;

$\sum P$ – сума опадів, мм.

Якщо значення $L > 0$, то полягання буде, якщо $L < 0$ – то ні.

У тому випадку, коли строки сівби у господарствах дуже розтягнуті, то на полях стійкість рослин до полягання формується за різних умов і їх потрібно враховувати через площі посіву у різні строки.

Ярий ячмінь. Метод оцінки агрометеорологічних умов формування стійкості до полягання заснований на використанні ймовірних залежностей оцінки стійкості до полягання від метеорологічних факторів у період від кущіння до колосіння (*табл.7.25-7.26*).

Таблиця 7.26 – **Ймовірність (%) різної стійкості до полягання ячменю при різній амплітуді температури повітря у період кущіння-колосіння**

Амплітуда температури повітря, ^{0}С	Оцінка стійкості до полягання, бал				
	1,0-1,9	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	5,0
8,5-11,5	5	23	23	21	28
11,6-12,0	3	7	13	27	50
12,1-13,0	-	5	3	16	76
>13,0	-	-	-	9	91

У період колосіння-воскова стиглість оцінка агрометеорологічних умов проводиться тільки у тих випадках, коли найбільша висота стеблестою перевищує 70см.

Якщо висота стеблестою 70 см і більше, то ймовірність полягання залежить від інтенсивності опадів та їх кількості за один дощ. Існує шкала полягання зернових: *а* – полягання відсутнє; *б* – слабке полягання (не більше 30%); *в* – середнє полягання (31-60%); *г* – сильне полягання (>60%).

7.5.1 Прогноз полягання зернових хлібів

Прогноз полягання посівів ячменю. Дотепер ще немає статистичних залежностей, які дозволяють прогнозувати полягання ячменю до виходу

рослин у трубку. Для цього використовують залежність міри полягання посівів від гущини стеблестою.

Інтенсивність полягання по гущині стеблестою прогнозується тільки у двох випадках:

- якщо на дату фази виходу в трубку стеблестій ячменю зріджений (менше 700 стебел на м^2), то ймовірна або відсутність полягання, або незначне полягання;
- якщо до фази виходу в трубку спостерігалась гущина посівів більше 1300 стебел на м^2, то ймовірність полягання посівів буде ≥ 80%.

Інтенсивність полягання ячменю на полях з гущиною стеблестою від 700 до 1300 стеб/м^2 на суглинках прогнозується по запасах продуктивної вологи у шарі 0-50 см, визначених через 1 декаду після виходу у трубку (*рис.7.5*).

Якщо запаси вологи становлять 60 мм, то полягання або не буде, або дуже незначне. При запасах вологи 100-110 мм існує небезпека полягання посівів на великих площах.

При визначенні площі полягання слід звернути увагу на температуру повітря. Якщо значення її коливаються у межах 12-16^{0}С, то ймовірність полягання збільшується, якщо ж $t \geq 18^0$С – то значно зменшується ймовірність сильного полягання.

Значний вплив на полягання посівів має кількість та інтенсивність опадів. Найбільше полягання ячменю спостерігається при опадах більше 30 мм за будь-якої інтенсивності (*рис.7.6*).

Якщо при визначенні ймовірності полягання посівів ячменю важко віддати перевагу якій-небудь одній градації, то об′єднують дві суміжні.

При прогнозуванні полягання відхилення фактичного полягання від розрахованого на одну градацію допускається.

Метод прогнозу розроблено для слабостійких сортів ячменю. В роки з сильним поляганням слабостійких сортів середньостійкі полягають на 18-20% менше, а стійкі – на 50%. Тому при складанні прогнозу полягання враховують вищевказані поправки для середньостійких і стійких сортів.

Прогноз полягання озимої пшениці. Дослідження показали, що на формування стійкості до полягання озимої пшениці впливають умови осінньої вегетації і перезимівлі. Якщо під час перезимівлі зрідженість посівів буде ≥ 26%, то полягання прогнозується по гущині посівів на дату виходу у трубку. Якщо гущина становила ≤ 600 стебел/м^2, то посіви не полягають. При гущині 1300 стебел/м^2 посіви майже завжди полягають під час дощів. При гущині посівів від 600 до 1300 стебел/м^2 прогноз полягання складається за значеннями середньої температури повітря за період від виходу у трубку до цвітіння. Прогноз складається після настання фази виходу у трубку. Тому, щоб визначити середню температуру за вказаний

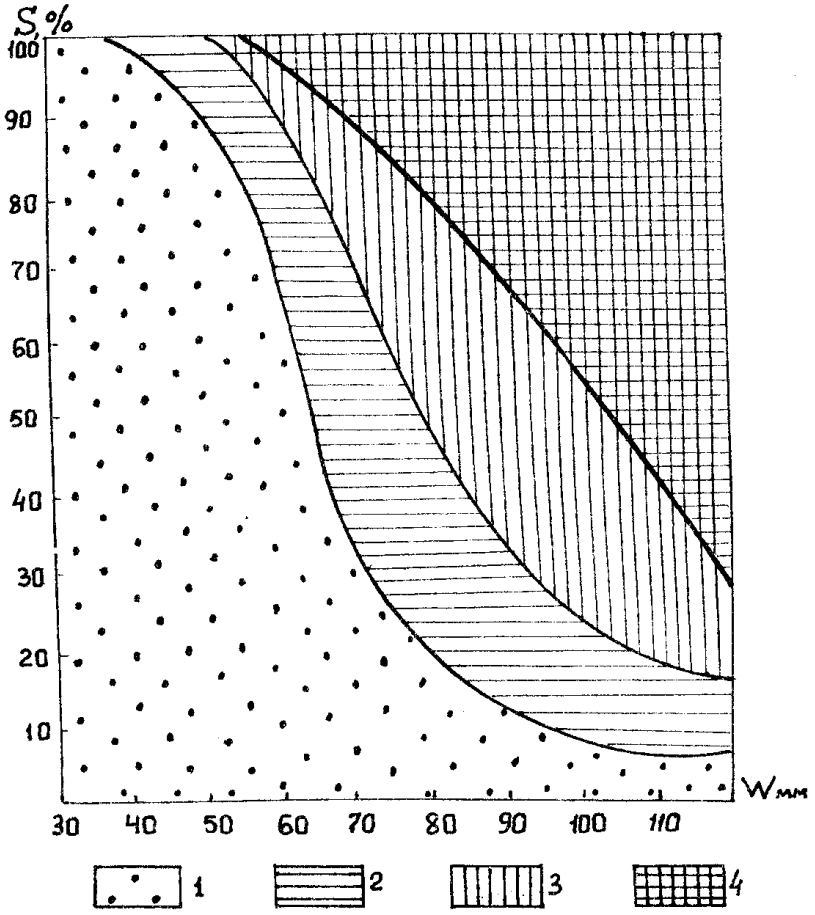


Рис.7.5 – **Сумарна ймовірність (*S*) полягання посівів ячменю по градаціях при різних запасах продуктивної вологи у шарі 0-50 см через декаду після виходу у трубку:**

1 – полягання не спостерігається; 2 – слабке полягання; 3– середнє полягання; 4 – сильне полягання.

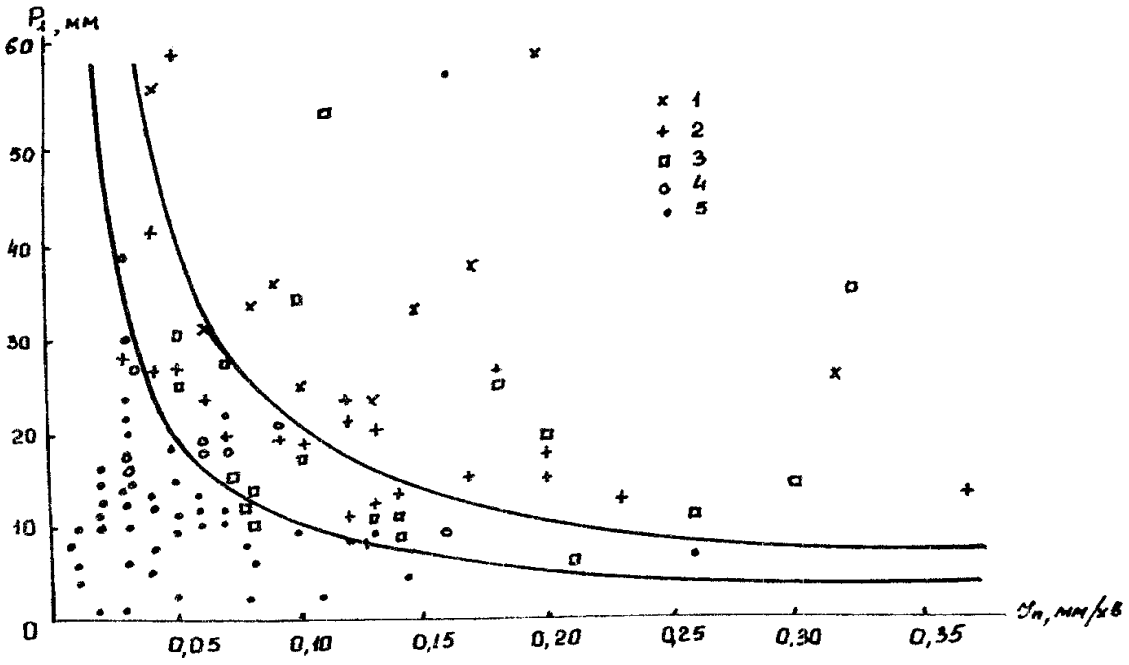


Рис.7.6 – **Залежність інтенсивності полягання ячменю від кількості опадів за один дощ і середньої інтенсивності їх випадання:**
1, 2, 3, 4, 5 – інтенсивність полягання у балах.

період, необхідно визначити дату цвітіння. Для цього спочатку визначається дата колосіння озимої пшениці по сумах ефективних температур вище 5^0С. Вони становлять для усіх сортів, крім Миронівської 808, за період від виходу в трубку до колосіння 330^0С; для Миронівської 808 – 312^0С. Дата цвітіння визначається за допомогою середньої багаторічної тривалості періоду колосіння-цвітіння, яка складає 5-8 днів.

Після визначення дати цвітіння розраховується середня за період вихід у трубку-цвітіння температура повітря.

Ймовірність полягання озимої пшениці визначається за допомогою *табл.7.27*.

Таблиця 7.27 – **Ймовірність (%) полягання озимої пшениці при різних значеннях температури повітря**

Температура повітря, ^{0}С	Міра полягання посівів, %			
	полягання відсутнє	слабке	середнє	сильне
за період вихід у трубку-цвітіння				
<12,5	0	0	50	50
12,6-13,4	42	21	13	24
13,5-14,4	50	25	20	5
14,5	77	17	3	3
за період від 21 травня до 20 червня				
11,5-13,0	12	24	29	35
13,1-14,5	50	16	18	16
14,6-15,5	60	28	12	0
>15,5	83	17	0	0

У тексті прогнозу вказується найбільш ймовірний стан посівів. Якщо ж визначення однієї градації ускладнено, то тоді рекомендується об′єднати дві суміжні.

Послідовність складання прогнозу полягання показана на *рис. 7.7.*

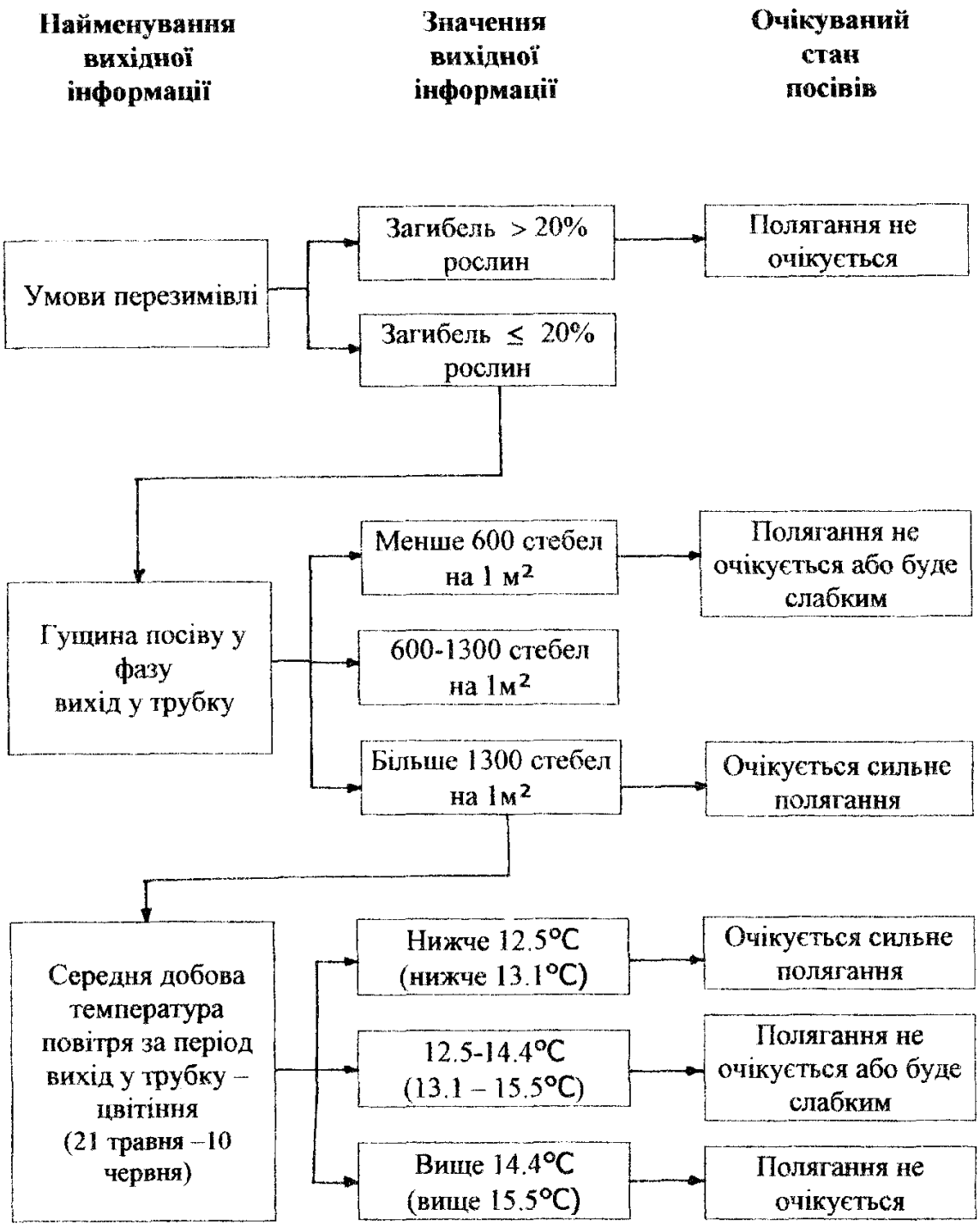


Рис.7.7 – **Послідовність складання прогнозу полягання зернових культур.**

Приклад: Розрахувати ймовірність полягання озимої пшениці. Сорт Миронівська 808.
Дата виходу у трубку 4 травня.
Очікувана температура у травні: I дек.– $13,4^0$; II дек. – $15,4^0$; III дек.– $16,8^0$; у червні: I дек.– $18,0^0$.
Гущина посівів на дату виходу у трубку – 820 стеб/$м^2$.
Зимові пошкодження посівів – 15%.

1. Розраховується:

- Очікувана дата колосіння набором сум ефективних температур 312^0С.

$$(13,4^0 - 5^0) \times 6 + (15,4 - 5) \times 10 + (16,8 - 5) \times 11 + (17,2^0 - 5) \times 3 = 313^0C$$

Дата колосіння – 3 червня.

- Дата цвітіння – 3.VI + 8 дн = 11 червня.
- Очікувана середня температура за період вихід у трубку-цвітіння

$$(13,4^0 + 15,4^0 + 16,8^0) : 3 = 15,2^0C$$

- З *табл 7.27* визначається міра полягання :
  відсутнє полягання – 77%
  слабке – 17%
  середнє – 3%
  сильне – 3%.

У тексті прогнозу вказується загальний відсоток очікуваного полягання від 3 до 20%.

7.6 Розрахунки агрометеорологічних показників розвитку шкідників і хвороб сільськогосподарських культур

Усі сільськогосподарські рослини пошкоджуються багатьма видами комах, гризунів, молюсків та ін. Найбільшої шкоди завдають комахи, які складають основну масу шкідників, відзначаються великою плодючістю, пересуванням на значні відстані та заселенням великих площ. Численні експерименти [54,55,56,57] показали, що основні чинники зовнішнього середовища, які визначають стан і розмноження шкідників, а також ефективність боротьби з ними – це агрометеорологічні умови (температура і вологість повітря та грунту, інтенсивність і спектральний склад світла, тривалість світлового дня у різні періоди розвитку шкідників).

Агрометеорологічна оцінка умов розвитку шкідників сільськогосподарських культур. Кількість комах визначається метеорологічними умовами у такі основні періоди їхнього життя:

1) розмноження;
2) годівля, тобто період накопичення резервних речовин;
3) зимування, коли може спостерігатися погіршення їх стану та загибель;
4) відновний період.

Для визначення впливу окремих факторів середовища на комах розрізняють різні пороги, які обумовлюють існування того чи іншого виду:

- мінімум – значення чинника, нижче якого дана фаза розвитку особі існувати не може;
- песиум – значення чинника, за якого комаха знаходиться у стані пригнічення;
- оптимум – значення чинника, що забезпечує найбільш сприятливі умови життя;
- максимум – значення чинника, вище якого комаха гине.

Критичні значення мінімуму та максимуму, які викликають загибель особі, називаються фатальними.

Відношення комах до теплоти в основному характеризується двома показниками: порогом розвитку *B* та сумою ефективних температур ($\Sigma t_{еф}$).

Порогом розвитку називаються температурні межі, нижче та вище яких розвиток шкідника припиняється. У різних комах поріг розвитку та сума ефективних температур специфічні й неоднакові для різних фаз розвитку різних поколінь.

Для оцінки впливу умов зволоження на розвиток комах використовують такі показники як опади, вологість повітря та грунту.

Інтегральним показником впливу температури та опадів може бути гідротермічний коефіцієнт (ГТК), що розраховується за методами Г.Т.Селянинова, І.А.Рубцова. Значення ГТК Селянинова від 1,0 до 1,5 характеризує оптимальне зволоження; понад 1,6 – надмірне; менше 1,0 – недостатнє та менше 0,5 – слабке.

Для оцінки комплексного впливу теплоти та вологи на кількість і географічне поширення шкідників рослин користуються графічним зображенням середньомісячних значень цих чинників методом так званих клімограм (*рис.7.8*), які креслять як за середньобагаторічними даними, так і для окремих років.

Клімограму можна замінити біоклімограмою. Розрізняються вони тим, що на біоклімограмі точки перетинання середньомісячних метеорологічних показників з'єднуються не суцільною лінією, а умовними знаками фази розвитку шкідника. Біоклімограма дає уяву про те, при яких значеннях гідрометеорологічних чинників наступає та чи інша фаза розвитку комах і який існує зв'язок їхнього розвитку з температурою та вологістю середовища мешкання.

Наочне уявлення про вплив погодних умов окремих років і періодів дає феноклімограма (*рис.7.9*). На графіку зображуються подекадно відхилення гідрометеочинників від норми з нанесенням на нього фенології комахи-шкідника і пошкодженої ним рослини.

Найбільш поширеними шкідниками є луговий метелик, колорадський жук, озима совка та ін.

Луговий метелик - багатоїдний шкідник овочевих, пропашних культур, багаторічних трав і пасовищної рослинності. Основний ареал його розповсюдження – степові та лісостепові райони.

Він теплолюбний, гігрофільний і морозостійкий. Динаміка чисельності визначається плідністю шкідника та погодними умовами періоду масового льоту метеликів. Виділяють *три періоди* формування плідності лугового метелика:

1. *Період харчування гусені, її росту та накопичення жирових речовин*. Головну роль у цей період відіграє температура, що визначає швидкість розвитку, інтенсивність харчування та виживання гусені. Найсприятливіша температура – 19-22°С. При нижчих температурах розвиток гусені затримується і вона впадає в діапаузу. При температурі 17°С і нижче кількість гусені у діапаузі може досягати 50%. При температурі понад 25°С посилюється дихання гусені, втрачаються накопичені резерви жирових речовин, затримується активність і плодючість шкідника та його наступна чисельність.

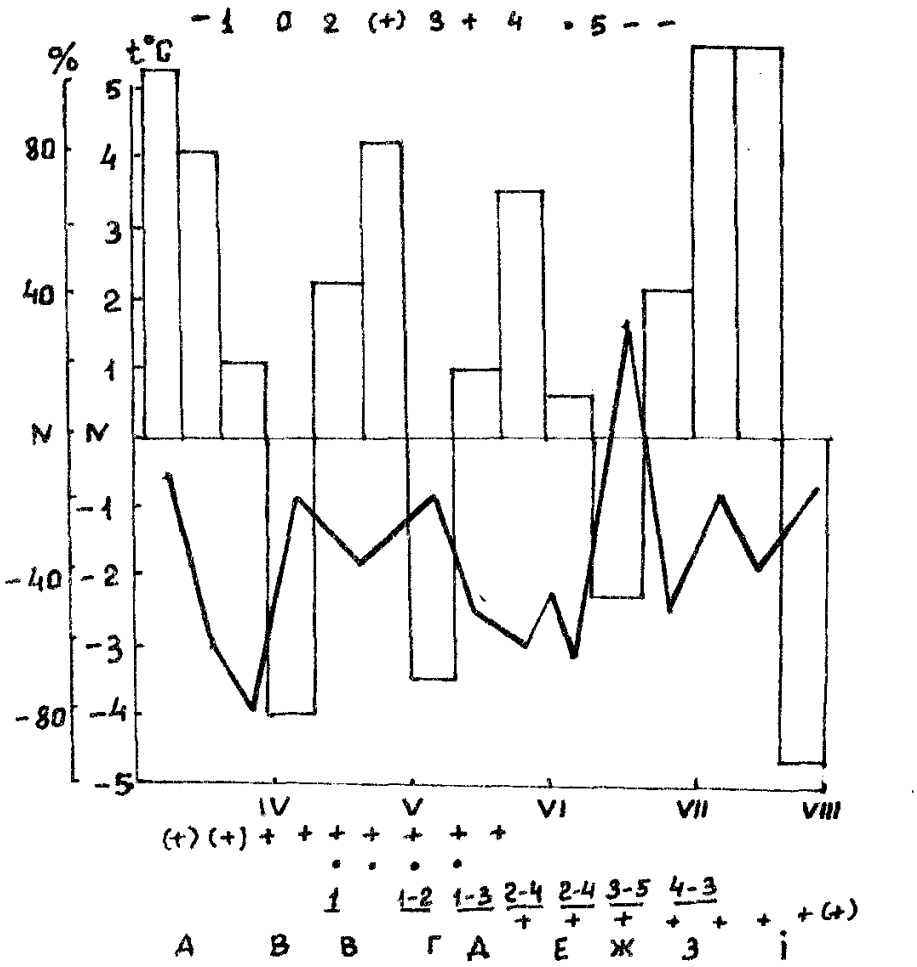


Рис.7.8 – **Феноклімограма за Урджарським (Семипалатинська область):**

1 – відхилення від норми середньодекадної температури;
2 – відхилення від норми суми опадів за декаду, %;
3 – імаго зимуюче; 4 – те саме, що перезимувало; 5 – яйце;
6 – лічинка (з указанням віку); *А* – сівба, *Б* – сходи, *В* – кущіння, *Г* – вихід у трубку, *Д* – колосіння; *Е* – молочна стиглість, *Ж* – воскова стиглість, *З* – повна стиглість, *І* – збирання; *N* – норма.

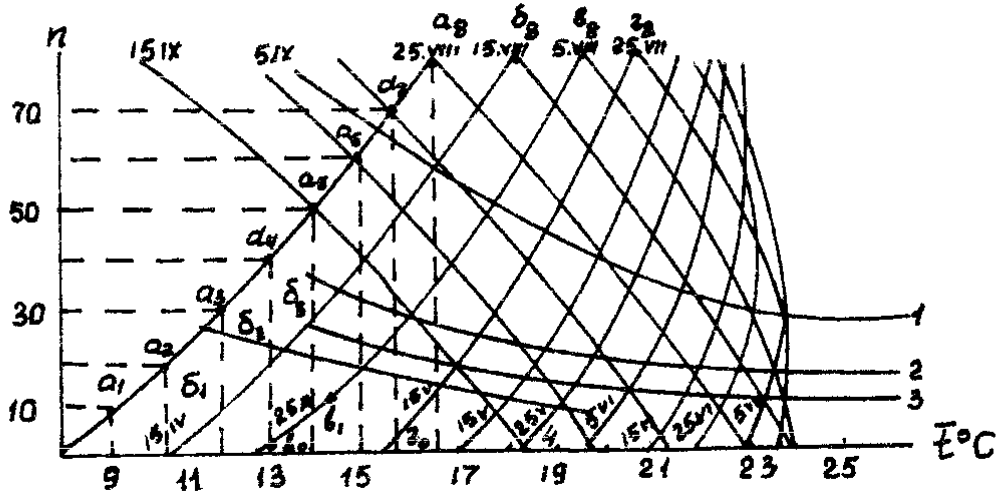


Рис.7.9 – **Термофенологічна номограма для ГМС Роздільна Одеської області:**
1, 2, 3, 4 – температурні залежності для періодів розвитку відповідно
O_v – $Л_{IV}$; O_v – V; O_v – $I_{m_л}$; I_{m_p} – O.

2. *Лялькування гусені.* Оптимальні умови для проходження цієї фази складаються при значеннях ГТК від 0,9 до 1,9 при температурі 20-25°С, несприятливі – при ГТК менше 0,9 та більше 2,0, екстремальні – при ГТК менше 0,5 та більше 2,5.
3. *Період масового льоту.* Встановлено [54], що виліт метеликів, які перезимували, розпочинається при прогріванні повітря до 15°С, а масовий літ – при установленні температури близько 17°С. Луговий метелик у фазі льоту особливо вимогливий до опадів, тому що йому для статевого дозрівання необхідні нектар або, принаймні, вода. Доведено, що відсутність опадів у цей період є основною причиною його безплідності. Якщо під час льоту переважає температура не нижче 16-17°С і йдуть дощі, то складаються сприятливі умови для різкого збільшення чисельності шкідника. Так, найбільша кількість зимуючих гусениць спостерігається при температурі не нижче 16-17° С і сумі опадів за період льоту від 20 до 44 мм; за такої самої температури, але коли сума опадів за період льоту не перевищує 10 мм, метелики залишаються безплідними.

Час масового вильоту метеликів, які перезимували, визначається не тільки агрометеорологічними умовами поточного року, але й умовами попереднього року. Для врахування сумарного впливу цих чинників запропоновано визначити час вильоту метеликів, що перезимували, за рівнянням

$$y = 165 - 36{,}4\,x_1 - 32{,}1\,x_2 - 1{,}9\,x_3 - 11{,}2\ , \qquad (7.33)$$

де y – сума ефективних температур, необхідна для початку вильоту метеликів;

x_1 – ГТК періоду закінчення харчування гусені восени попереднього року;

x_2 – ГТК періоду лялькування покоління, яке перезимувало у поточному році;

x_3 – висота снігового покриву у лютому – березні поточного року.

Плодючість лугового метелика знаходиться у тісному зв’язку з рівнями температури та вологості. Ступінь плодючості (число сформованих яєць, що припадає на одну самку) лугового метелика у зв’язку з умовами середовища може бути визначена за графіком (*рис.7.10*), розробленим Л.А.Макаровою та Г.М.Дороніною.

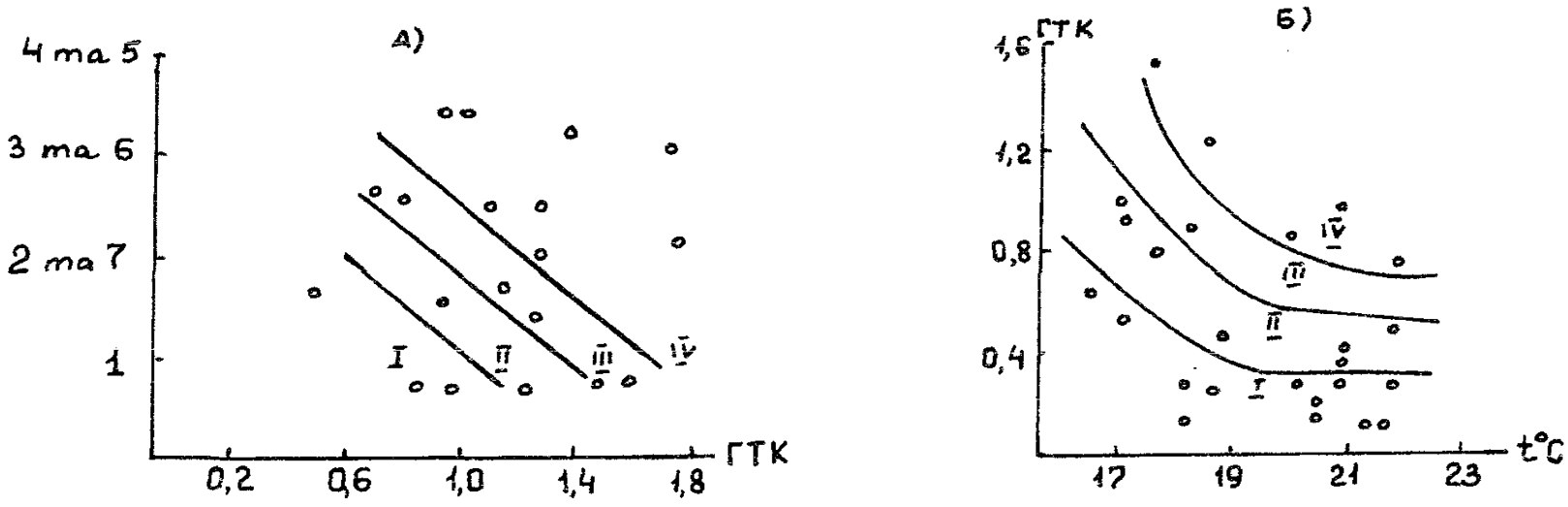


Рис.7.10 – **Плодючість самок лугового метелика залежно від умов середовища.**
Кількість сформованих яєць, шт.: I – <50; II – 50-100; III – 100-150; IV – >150.
Фаза динаміки чисельності: 1 – депресія; 2 – вихід з депресії; 3 – початок підйому; 4 – підйом; 5 – масове розмноження; 6 – початок спаду; 7 – спад. Маса тіла лялечок, мг: *А* – <30; *Б* – >30.

Колорадський жук – найнебезпечніший шкідник картоплі та інших пасльонових культур. За вегетаційний період дає 2-4 покоління. Особливо шкідливі дорослі жуки та личинки III і IV поколінь.

Зимує у фазі дорослого жука у грунті на глибині 10-50 см. Час виходу навесні дуже розтягнутий. Повний вихід збігається з установленням середньодобової температури близько 10°С.

Період від виходу жуків з грунту до початку відкладання яєць (період зрілості) визначається з наведеного далі рівняння залежно від середньої за цей період температури повітря (t) і строків виходу жука з грунту (різниця в годинах між максимальною довжиною дня 21 червня та довжиною дня на дату виходу жука з грунту ($\Delta\tau$)) :

$$y = 94{,}6 + 0{,}221\, t^2 - 8{,}738\, t + 4{,}15\Delta\tau\,, \quad S_y = \pm 3{,}4 \text{ дня} \qquad (7.34)$$

Швидкість розвитку яєць, личинок і лялечок колорадського жука визначається в основному температурою повітря. Найсприятливіша температура для проходження цих фаз розвитку близько 20-26°С, при якій спостерігається найменша тривалість розвитку покоління – 29 днів.

Було встановлено [56,57], що залежність тривалості розвитку яєць, личинок та лялечок і в цілому всього весняного покоління характеризується рівнянням параболи другого порядку та може бути визначена за даними *табл.7.28*.

Для зрілості жука літніх поколінь велике значення має не тільки температура повітря, а й тривалість світлового дня τ . Для районів, де друге покоління шкідників має для сільського господарства велике значення (Південь України, Молдова, Північний Кавказ), для розрахунку дати зрілості жуків В.В.Вольвачем запропоновано рівняння:

$$y = 79{,}9 - 0{,}46\, t - 0{,}062\tau\,, \qquad (7.35)$$
$$S_y = \pm\, 2{,}3 \text{ дні}$$

Багаторічні спостереження показали, що масовий вихід жуків, які перезимували, збігається з датами першого відкладання яєць. Масове відродження личинок II покоління збігається з датою відродження перших личинок IV покоління. Період появи перших личинок III покоління є найсприятливішим для хімічної обробки посівів.

Важливим показником міри сприятливості умов існування і розвитку шкідника є кількість жуків, яка відображає протилежні процеси в популяціях (розмноження та загибель особин).

Таблиця 7.28 – **Рівняння зв'язку виду $y=at^2-bt+c$ та його статистичні характеристики для основних фаз і періодів розвитку колорадського жука**

Фази і періоди розвитку	Коефіцієнти рівнянь зв′язку			R	$\pm S_y$, дні	Температура, ^{0}C
	a	$-b$	c			
Яйцекладка (O_v)	0,109	-4,92	61,4	0,80	1,9	12-26
Личинки ($Л_1$-$Л_4$)	0,135	-6,51	918	0,78	2,7	13-25
Лялечки (P)	0,188	-8,96	117,6	0,95	2,8	13-25
Від яйцекладки до:						
$Л_2=(O_v - Л_2)$	0,171	-7,68	95,3	0,80	2,4	13-25
$Л_3=(O_v - Л_3)$	0,204	-9,09	113,3	0,80	2,7	14-25
$Л_4=(O_v - Л_4)$	0,213	-9,77	126,6	0,80	3,1	14-25
$P_p=(O_v - P_p)$	0,470	-20,20	236,8	0,84	3,2	14-25
$I_m=(O_v - I_m)$	0,378	-18,54	253,7	0,92	4,0	14-25

R – коефіцієнт множинної регресії.

В.В.Вольвачем запропоновано екологічний коефіцієнт розмноження K, який відображає зв'язок чисельності колорадського жука з метеорологічними умовами:

$$K = \frac{\sum_{a}^{b} П_{\partial}(x_i)\left[100 - \mu_1(c_i)\right]\cdot\left[100 - \mu_2(z_i)\right]}{100}, \qquad (7.36)$$

де $П_{\partial}(x_i)$ – величина продуктивної плідності (сума яєць на одну самку);

межі a та b –відповідно початок і кінець фази відкладання яєць;

μ_1 – процент загибелі особин за період активної життєдіяльності ($O_v - I_m$);

μ_2 – процент загибелі особин за період зимівлі;

x_i, c_i, z_i – характеристики, що відображають вплив метеорологічних умов;

λ – статевий індекс, який показує співвідношення статей у популяції.

$$П_{\partial}(x_i)=4{,}87\,t + 15{,}7\tau - 4{,}771\tau^2 - 131{,}3\,, \qquad (7.37)$$

де t – температура повітря за i -ту декаду;
τ – тривалість дня на початок i-ї декади.

$$\mu_1 = 34{,}54 \ln Q + 20 \ln P - 141{,}0\,, \qquad (7.38)$$

де Q – осереднена тривалість повної генерації;
P – сума опадів за осереднений період (O_v -Y_m).

$$\mu_2 = 74 - 5{,}6\,(t - 17{,}3)\,, \qquad (7.39)$$

де t – середня температура періоду додаткового харчування жуків, у межах від 14,0 до 20,5° С.

Значення K=1,0 вказує на те, що чисельність шкідників не змінилась і залишилась на тому самому рівні. Значення K>0 вказує на сприятливі умови для збільшення чисельності. K< 0 вказує на несприятливі умови, які зменшують чисельність жука. Встановлено, що в районах , де середнє багаторічне значення K=2,2-2,8, необхідних хімічних обробок потребує близько 25% посівної площі картоплі.

Екологічний коефіцієнт розмноження розраховується за формулою (*7.36*). Плідність жука обчислюється подекадно за період від масового відкладання яєць до дати переходу температури повітря через 12°С восени. Сумарна плідність буде декадною сумою відкладених яєць. Замість формули можна користуватися номограмою.

Загибель колорадського жука за період його активного життя визначається з рівняння (*7.33*) або за номограмою (*рис.7.9*).

Для визначення з номограми величини $\mu_1(O_v - I_m)$ опади розраховують так: спочатку визначають середню кількість опадів, які припадають на один день періоду від початку масового відкладання яєць до переходу температури повітря через 12°С восени. Потім середньодобову кількість опадів множать на середню тривалість періоду розвитку генерації. Як показник загибелі жука за період зимівлі при розрахунках за середньобагаторічними показниками приймається μ_2 =60% , що відповідає 80% забезпеченості його загибелі.

Індекс, що відображає відношення кількості самців m і самок f у популяції:

$$\lambda = f / (m + f) \qquad (7.40)$$

Згідно з літературними даними колорадському жуку відповідає співвідношення 1 : 1, тобто λ приймається рівним 0,5.

Приклад розрахунку.

1. Виконати розрахунки для визначення появи і плідності метелика.

а) Провести аналіз часу настання окремих фаз розвитку лугового метелика та охарактеризувати термічні умови (середня температура, сума ефективних температур >12^{0}С) та умови зволоження (суми опадів, ГТК) у різні міжфазні періоди. При цьому слід звернути увагу на фази імаго, гусені III та IV покоління. Порівняти одержані дані з середніми багаторічними.

Побудувати графіки залежності тривалості окремих міжфазних періодів від температури.

б) Встановити час вильоту метеликів, що перезимували, за рівнянням.

в) Визначити час настання окремих фаз розвитку лугового метелика в поточному році. Для цього побудувати термофенологічну номограму (*рис.7.9*), де визначається з одної сторони термічні умови місцевості, з другої – темпи розвитку шкідників у зв′язку з температурою. На графіку на горизонтальній осі координат наносяться значення температури повітря, на вертикальній – тривалість періоду у днях.

Масштаб: гор. I см – 1^{0}С, верт.1см – 10 днів.

Оскільки температурно-фенологічна номограма дає середню багаторічну характеристику строків появи шкідників, необхідно визначити дату появи лугового метелика, його шкідливої фази та її тривалість у поточному році. Для цього визначається відхилення температури повітря поточного року від норми Δt і паралельно відповідній температурній кривій проводиться лінія до перетину з кривою розвитку лугового метелика. Визначити можливе число поколінь лугового метелика.

г) Побудувати біоклімограму лугового метелика, використовуючи дані: середні багаторічні та поточного року на одному рисунку. На вертикальній осі відкладають значення середньомісячних температур, на горизонтальній – кількість опадів за даний період. Точки перетину цих показників з′єднують лініями, що позначають фазу розвитку шкідника: пунктиром або крапками (- - - , ...) – фазу яйця, суцільною лінією (___) – личинку, кружками (ооо) – лялечку, хрестиками (+++) – імаго.

У точці перетину позначити цифрами місяць, а поруч для порівняння дріб: у чисельнику – температура, у знаменнику – опади.

Визначити на скільки і в який бік відхиляються метеорологічні показники поточного року і від їх середньо-багаторічних значень.

д) Дати розгорнуту феноклімограму, на якій подекадно відобразити хід метеорологічних елементів і фенологію шкідника (*рис.7.8*).

Проаналізувати рисунок і оцінити вплив погодних умов на швидкість розвитку лугового метелика, виявити головні чинники.

ж) За графічними залежностями (*рис.7.9*) визначити ступінь плідності лугового метелика (кількість сформованих яєць) залежно від гідротермічних умов під час його харчування та лялькування.

2. Розрахувати появу і плідність колорадського жука.

а) Розрахувати дату виходу з грунту перших колорадських жуків шляхом визначення дати стійкого переходу температури повітря через 10^0С, яка встановлюється загально прийнятим способом – за сумою додатних і від′ємних відхилень температури від даної межі, тобто від 10^0С.

б) Визначити:

– дати відкладання яєць, появи личинок і лялечок, тривалість міжфазних періодів.

Визначення строків розвитку личинок II та III поколінь слід починати через 5-6 днів після дати початку відкладання яєць, IV покоління – через 10 днів, якщо рівень температури не нижче 17^0С, та після 20 днів, якщо вона нижче цієї межі;

– період стиглості жука літньої генерації і дату їх першого відкладання яєць взяти з *табл.7.31*;

– дати настання фаз розвитку II покоління;

в) Навести такі самі розрахунки за термофенологічною номограмою.

На побудовану температурну сітку нанести криві, що описують залежність швидкості розвитку колорадського жука від температури. Останні розраховуються з допомогою рівнянь (*табл.7.28*) або з *табл.7.29-7.31*. Визначити також показники для II та наступних поколінь і на підставі проведених обчислень визначити можливу кількість поколінь шкідника.

г) Визначити екологічний коефіцієнт розмноження *K* за формулою. Плідність жука обчислити подекадно за період від масового відкладення яєць до дати переходу температури повітря через 12^0С восени. Сумарна плідність буде декадною сумою відкладених

яєць. Замість формули можна користуватися номограмою (*рис.7.11*).

Загибель колорадського жука за період його активної життєдіяльності визначається з рівняння (*7.35*).

Для визначення з номограми величини $\mu_1(O_v - I_m)$ опади розраховуються так: спочатку визначають середню кількість опадів, які припадають на один день періоду від початку масового відкладання яєць до переходу температури повітря через 12^0С восени. Потім середньодобову кількість опадів помножують на середню тривалість періоду розвитку генерації. За показник загибелі жука за період зимівлі при розрахунках за середньобагаторічними показниками приймається μ_2 = 60%, що відповідає 80% забезпеченості його загибелі.

Індекс, що відображає відношення кількості самців *m* і самок *f* визначається з формули (*7.40*).

д) На підставі виконаної роботи визначити дати та період (дні) обробки полів.

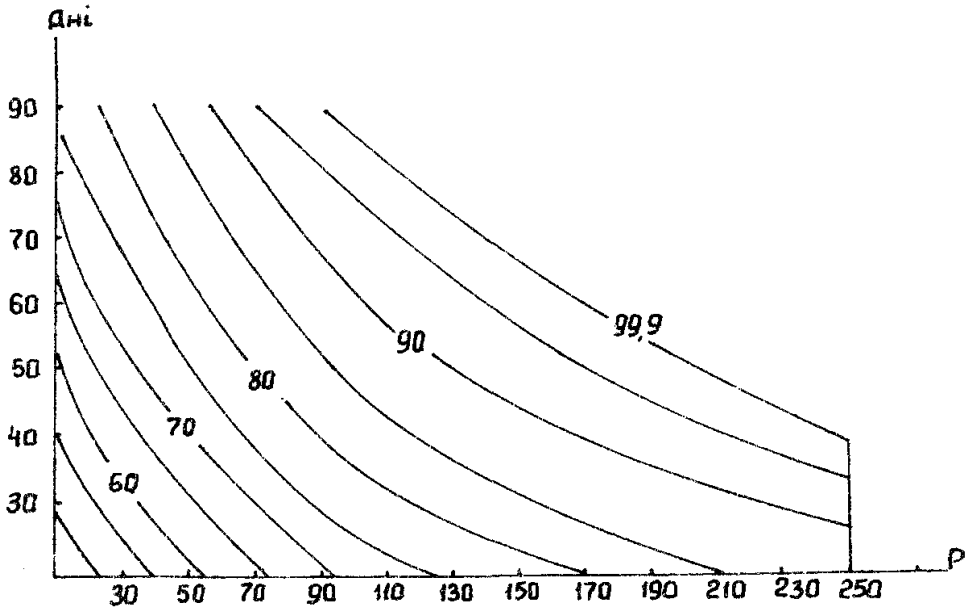


Рис.7.11 – **Загибель особин колорацького жука за період розвитку повної генерації (*y*) від суми опадів (*x*).**

Таблиця 7.29 – **Залежність тривалості періоду зрілості жуків, що перезимували (дні), від температури t_{cp} та показника строку їх виходу Δτ**

Δτ	t_{cp} ,°C							
	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	18	15	13	11	10	9	8	7
0,2	19	16	14	12	11	10	9	8
0,4	20	17	15	13	12	11	10	9
0,6	21	18	16	14	12	11	11	10
0,8	22	19	17	15	13	12	12	11
1,0	23	20	17	16	14	13	12	12
1,2	23	21	18	16	15	14	13	13
1,4	24	21	19	17	16	15	14	14
1,6	25	22	20	18	17	16	15	15
1,8	26	23	21	19	18	17	16	15
2,0	27	24	22	20	18	17	17	16
2,2	28	25	22	21	19	18	17	17
2,4	29	26	23	21	20	19	18	18
2,6	30	27	24	22	21	20	19	19

Таблиця 7.30 – **Тривалість розвитку колорадського жука (дні) залежно від температури повітря**

Фаза та період розвитку	Температура, °C													
	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Відкладання яєць O_v	18	16	14	12	11	9	8	7	7	6	6	6	6	6
Личинки $Л_{I}$ – P_P	-	30	27	25	22	20	18	17	16	15	14	13	13	13
Лялечки P	-	33	29	25	22	20	28	16	14	12	11	11	10	11
Від відкладання яєць до:														
$Л_{II}(O_v – Л_{II})$	-	25	21	19	16	14	12	11	10	10	9	9	10	10
$Л_{III}(O_v – Л_{III})$	-	-	26	23	20	18	16	14	13	12	12	12	12	13
$Л_{IV}(O_v – Л_{IV})$	-	-	33	28	25	22	20	18	17	16	15	15	14	15
$P_P(O_v - P_P)$	-	-	41	36	32	28	25	23	21	20	18	18	18	18
$I_m(O_v - I_m)$	-	-	69	60	53	48	44	40	36	33	31	30	29	29

Таблиця 7.31 – **Залежність тривалості періоду зрілості жуків літньої генерації (дні) від температури t_{cp} та довжини дня τ**

τ, год	t_{cp}, °C								
	17	18	19	20	21	22	23	24	25
14,2	19	19	18	18	17	17	17	16	15
14,5	18	18	17	17	16	16	15	15	14
14,8	17	16	16	15	15	14	14	13	13
15,2	15	15	14	14	13	13	13	12	12
15,5	14	14	13	13	12	12	11	11	10
15,8	13	12	12	11	11	10	10	9	9
16,2	12	11	11	10	10	9	9	8	8
16,5	10	10	9	9	8	8	7	7	6
16,8	9	8	8	8	7	7	6	6	6

8 АГРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ І ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

8.1 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-обгрунтованого 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 [58,59]. 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:

$$y_1, y_2, ..., y_i, ..., y_n, \tag{8.1}$$

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 приймають модель:

$$y_t = f(t) + E_t, \tag{8.2}$$

де $f(t)$ – деяка невипадкова 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 обумовлюється 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 обумовлена погодними особливостями окремих років, визначає їх вплив на формування врожаїв і обумовлює відхилення від лінії тренду.

Такий розклад обумовлюється 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, обумовлений визначеною культурою землеробства, економічними і природними особливостями будь-якого району.

Коливання врожаїв біля лінії тренду 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.8.1*(*2*)):

$$y = a_0 + a_1 t \tag{8.3}$$

Якщо ж зміна врожайності нерівномірна то лінія тренда – це парабола другого порядку (*рис.8.1*(*3*)):

$$y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \tag{8.4}$$

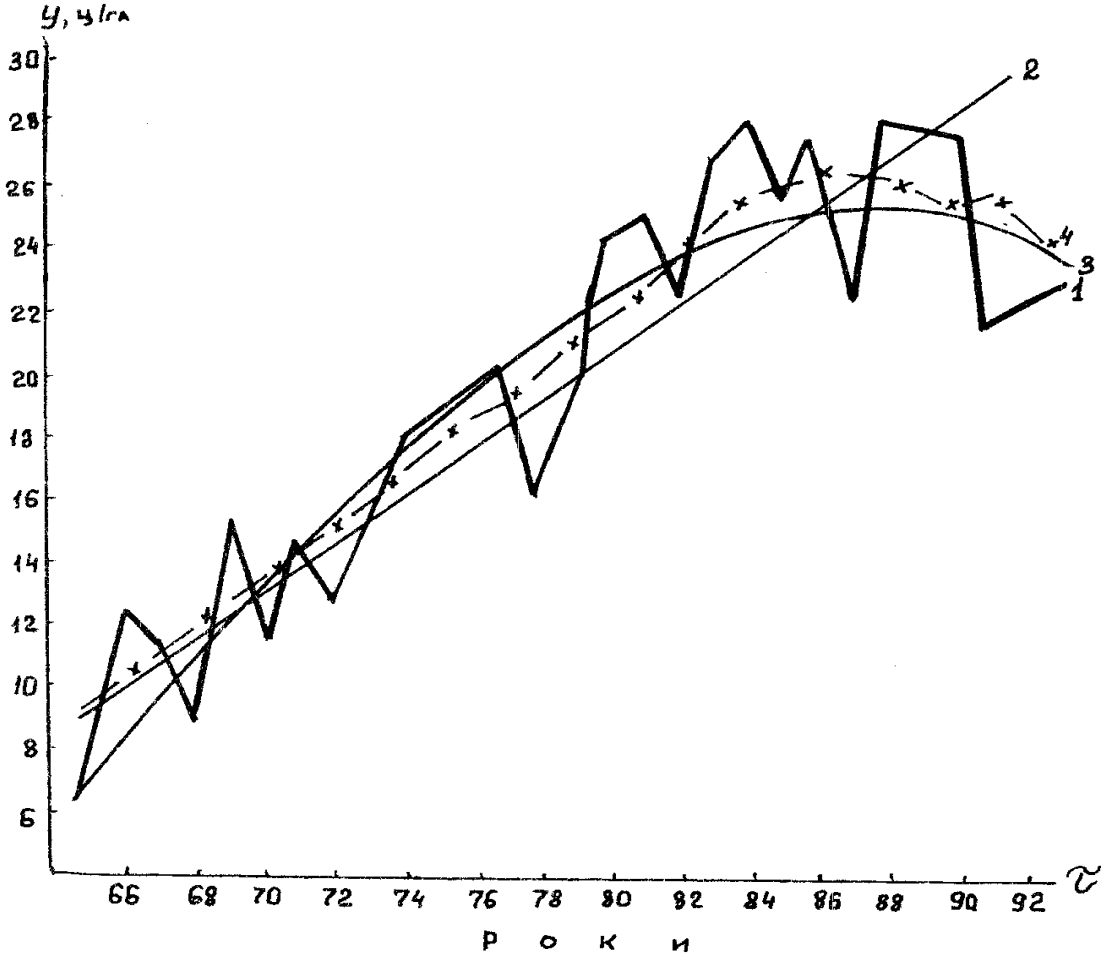


Рис.8.1 – **Динаміка врожаїв озимої пшениці і лінії трендів:**
1 – динаміка врожаїв; 2, 3 – лінії трендів.

де y – врожайність, ц·га$^{-1}$;

a_0 – вирівняний рівень врожайності на початку даного періоду;

a_1 – середньорічний приріст врожайності, обумовлений 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$^{-1}$, на півночі – 12,4ц·га$^{-1}$. На півдні України на протязі всього періоду спостерігалося рівномірне зростання середнього врожаю, обумовлене культурою землеробства. Річний приріст становить 0,7ц·га$^{-1}$. 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$^{-1}$). Далі приріст щорічно зростав на 0,06 ц·га$^{-1}$, що забезпечило значне підвищення середніх врожаїв на кінець періоду.

Мінливість врожаїв за період оцінюється коефіцієнтом варіації:

$$C_v = \frac{\sigma_y}{\bar{y}}, \tag{8.5}$$

де σ_y – середнє квадратичне відхилення ряду врожаїв;

$\bar{y}$ – середній врожай, ц·га$^{-1}$.

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 розкладать на сум двох испесій: дисперсію по'язану з культурою землеробства ($\sigma^2_{кз}$), і дисперсію, обумовлену погодою окремих років (σ^2_n):

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}{n-1}}; \tag{8.6}$$

$$\sigma^2_{зг} = \sigma^2_{кз} + \sigma^2_n; \tag{8.7}$$

$$\sigma_n^2 = \sigma_{зг}^2 - \sigma_{кз}^2; \tag{8.8}$$

$$\sigma_{зг}^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \text{ і } \sigma_{кз}^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}; \tag{8.9}$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}; \tag{8.10}$$

$$c_n = \frac{1}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2 - \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \tag{8.11}$$

де $\hat{y}_i$ – врожайність, розрахована з рівняння лінії тренда (динамічна середня);

c_n – коефіцієнт варіації врожаїв, обумовлений особливостями погоди окремих років;

y_i – значення ряду врожаїв;

$\bar{y}$ – середнє арифметичне значення ряду;

n – довжина ряду.

Середня квадратична помилка коефіцієнта варіації σ_{c_n} розраховується з формули:

$$\sigma_{c_n} = \frac{c_n \sqrt{1 + c_n^2}}{\sqrt{2(n-1)}} \tag{8.12}$$

В порівнянні з вищеописаними методами розрахунку лінії тренда метод гармонічних зважувань, запропонований З.Хельвігом [58,60] 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 приймається 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 виб-

рати деяке число $k<n$ та за допомогою методу найменших квадратів розрахувати параметри рівнянь лінійних відрізків (фаз тренду):

$$y_i(t) = a_i + b_i t; \quad (i = 1,2,...,n\text{-}k+1), \tag{8.13}$$

де $k<n$ – кількість точок згладженного ряду,
при цьому: для $i = 1$, $t = 1,2,..., k$;для $i = 2$, $t = 2,3,.., k+1$;
для $i = n - k+1$, $t = n - k+2,...,n$.

Параметри a і b визначаються методом найменших квадратів.

Далі слід визначити значення кожної функції $y_i(t)$ у точках: $t=i+n-1$, $n=1,2,...,k$. 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:

$$\bar{y}_i(t) = \frac{1}{q_i}\sum_{j=1}^{q_i} y_i(t), \qquad j=1,2,...,q_i\,. \tag{8.14}$$

Прогнозування значення часового ряду визначається з формули:

$$\bar{y}_{t+1} = \bar{y}_t + \bar{\omega}_{t+1}, \tag{8.15}$$

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 в середині 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:

$$\omega_{t+1} = f(t+1) - f(t) = \bar{y}_{t+1} - \bar{y}_t \tag{8.16}$$

Середні прирощення:

$$\bar{\omega}_{t+1} = \sum_{t=1}^{n-1} C_{t+1}^{n} \cdot \omega_{t+1} \tag{8.17}$$

де C_{t+1}^{n} – гармонічні зважування, які визначаються з формули:

$$C_{t+1}^{n} = \frac{m_{t+1}}{n-1}, \tag{8.18}$$

де m_{t+1} – гармонічні коефіцієнти.

При розрахунку гармонічних коефіцієнтів зберігається головна ідея методу – більш пізнім спостереженням надається більше ваги. Найранші спостереження мають вагу:

$$m_2 = \frac{1}{n-1}, \tag{8.19}$$

в наступний момент вага інформації m_3 буде:

$$m_3 = m_2 + \frac{1}{n-1} \tag{8.20}$$

Таким чином, ряд зважувань визначається з рівняння:

$$m_{t+1} = m_t + \frac{1}{n-t}\ ; \quad (t = 2,3,...,n\text{-}1), \tag{8.21}$$

з початковою величиною, визначеною з рівняння (*8.19*)

Екстраполяція тенденції часового ряду визначається з виразу:

$$y_{t+1} = y_t + \omega_{t+1} \tag{8.22}$$

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).

Приклад тренда, розрахованого методом гармонічних зважувань наводиться на *рис.8.13(4)*.

8.2 Оцінка агрометеорологічних умов вирощування зернових культур в окремому районі

Для України комплексний метод оцінки агрометеорологічних умов вирощування зернових культур розроблено в УкрНДГІ під керівництвом В.П.Дмитренка [61].

Комплексний метод оцінки дозволяє:

- провести аналіз рівня врожаїв сільськогосподарських культур та дати оцінку внеску головних агрометеорологічних факторів в їх формування за кліматичними та щорічними даними;
- визначити міру відповідності між умовами, що склалися, і найсприятливішими агрометеорологічними умовами за всі міжфазні періоди та в цілому за період вегетації;
- розробити рекомендації для подальшого найбільш повного використання агрометеорологічної інформації в управлінні сільськогосподарським виробництвом.

Кількісна оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю сільськогосподарських культур грунтується на закономірностях впливу температури повітря і опадів на продуктивність рослин за відрізки часу значної тривалості (місяць і більше).

Короткочасні коливання термічного режиму і значні опади враховуються сумарно. Тому в окремих випадках аналіз доповнюється іншими показниками, як то: кількість днів з суховіями, температура грунту на глибині вузла кущіння, тривалість і товщина льодової кірки, аналіз настання фаз розвитку, вологозапаси грунту, приморозки та ін.

Загалом метод засновано на розрахунку щорічного статистичного максимуму врожайності та коефіцієнтів продуктивності по температурі повітря та опадах.

8.2.1 Розрахунок щорічного статистичного максимуму врожайності

Статистичний максимум врожайності – це потенціал продуційності культури у будь-якому регіоні у будь-який рік у відповідності з грунтово-кліматичними умовами та рівнем культури землеробства. Статистичний максимум врожайності залежить від інтенсифікації вирощуваних культур, з часом він змінюється. Головна закономірність зміни врожаїв з часом має назву тренда, який представляє собою чинник щорічного приросту врожайності. Щорічний приріст та статистичний максимум загалом представляють щорічний статистичний максимум врожайності і дають

змогу визначити максимальний рівень врожаїв кожного року. Ці показники розраховуються за методами математичної статистики за даними натурального ряду врожаїв.

Щорічний статистичний максимум врожайності розраховується за формулою:

$$y_i = y_c + A_c t, \qquad (8.23)$$

де y_c – статистичний максимум врожайності з ймовірністю 99,9% на реперний рік, ц/га;

A_c – щорічний приріст врожайності, ц/га;

t – відхилення поточного року t_j від реперного t_c, яке визначається кількістю років ($t = t_j - t_c$).

Розрахунок значень щорічного статистичного максимуму врожайності за формулою (*8.23*) для території області, району, господарства проводиться у такій послідовності. За натуральним рядом врожаїв за останні 20-25 років обчислюється середня врожайність культури та її середнє квадратичне відхилення σ_y (формула (*8.16*)):

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^{n} y_i / n, \qquad (8.24)$$

де y_i – врожайність будь-якого року, ц/га;

n – кількість років.

Потім натуральний ряд врожайності розташовується у зростаючому порядку від першого до останнього номера (див.приклад *табл.8.1*) незалежно від порядкового номера року. Для кожного номера цього ряду обчислюється забезпеченість отримання програмованої врожайності:

$$P = \frac{m}{n+1} 100, \qquad (8.26)$$

де P – забезпеченість врожаю, % ;

m – порядковий номер ряду врожаїв;

n – обсяг вибірки.

Одержані дані наносяться на бланк клітчатки ймовірностей, на якому на осі абсцис відкладається значення забезпеченності (P), на осі ординат – врожайність (y). Потім проводиться пряма лінія так, щоб нанесені точки розташовувались якомога ближче до неї. Лінію далі екстраполюють до обрізу рисунка (*рис.8.2*). Статистичний максимум

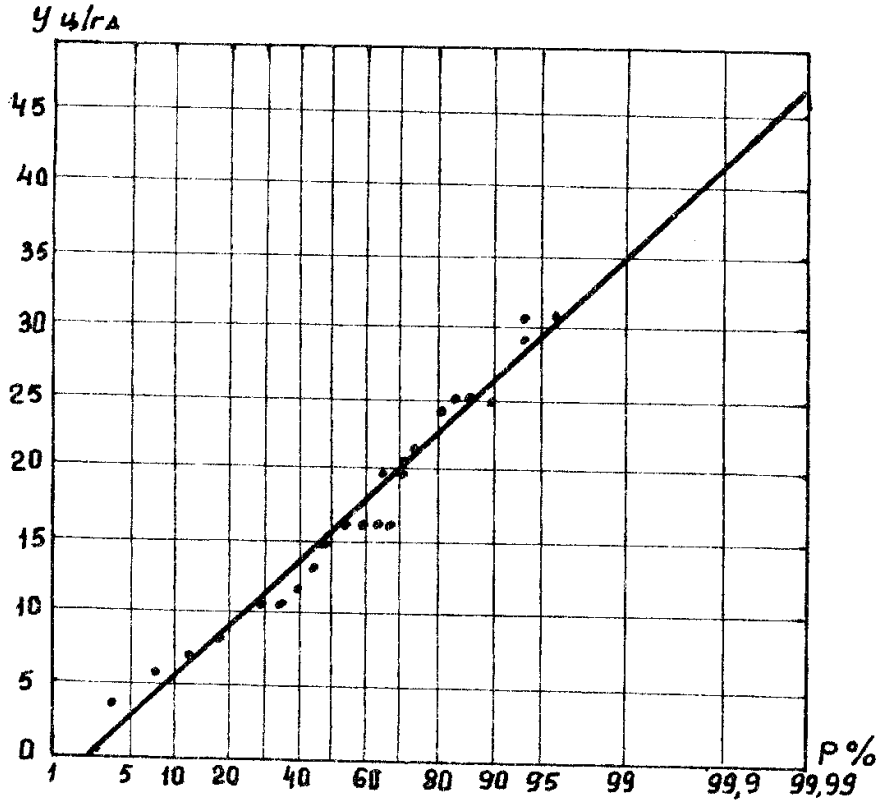


Рис.8.2 – **Приклад визначення статистичного максимуму врожайності озимої пшениці (y_c).**

врожайності *Ус* знімають з цього графіка із забезпеченістю 99,9%. Таким чином одержують першу складову формули (*8.23*) – y_c = 40,6 ц/га.

Таблиця 8.1 – **Приклад розрахунку параметрів щорічного статистичного максимуму врожайності озимої пшениці за 25 років**

Рік	y	$y - \bar{y}$	$(y - \bar{y})^2$	m	y	p%
Розрахунок $\bar{y}$ і σ				Початкові дані для визначення y_c		
1945	6,0	-9,9	98,01	1	3,6	3,8
1946	3,6	-12,3	151,29	2	6,0	7,7
1947	7,4	-8,5	72,25	3	7,4	11,5
1948	9,7	-6,2	38,44	4	8,3	15,4
1949	10,7	-5,2	27,04	5	9,0	19,2
1950	14,9	-1,0	1,00	6	9,7	23,1
1951	10,3	-5,6	31,36	7	9,7	26,9
1952	11,9	-4,0	16,00	8	10,3	30,8
1953	9,0	-6,9	47,61	9	10,7	34,6
1954	9,7	-6,2	38,44	10	11,9	38,5
1955	14,7	-1,2	1,44	11	13,9	42,3
1956	8,3	-7,6	57,76	12	14,7	46,1
1957	19,0	3,1	9,61	13	14,9	50,0
1958	19,0	3,1	9,61	14	14,9	53,8
1959	23,0	7,1	50,41	15	14,9	57,6
1960	13,9	-2,0	4,00	16	19,0	61,5
1961	23,3	7,4	54,76	17	19,0	65,4
1962	20,3	4,4	19,36	18	20,3	69,2
1963	14,9	-1,0	1,00	19	22,6	73,1
1964	14,9	-1,0	1,00	20	23,0	76,9
1965	30,4	14,5	210,25	21	23,3	80,7
1966	30,4	14,5	210,25	22	23,5	84,6
1967	22,6	6,7	44,89	23	27,1	88,5
1968	23,5	7,6	57,76	24	30,4	92,3
1969	27,1	11,2	125,44	25	30,4	96,1
Сума	398,5	1,0	1378,98			
Середнє	15,9	-	55,16			
σ			7,4			

Для обрахування щорічного приросту врожайності A_c використовують дані врожайності за останні 10-11 років натурального ряду. За формулою (*8.24*) обчислюють середню врожайність для цього відрізку часу (у прикладі - 22,2 ц/га) та відхилення врожайності від середньої. Потім роки нумерують так, щоб середина відрізку відповідала початку відліку. Суму множників відхилень врожайності від середньої на номер року $(y-\bar{y})t_i$ ділять на суму квадратів номерів року t_i^2 і розраховують A_c за формулою:

$$A_c = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i^2} \qquad (8.26)$$

Приклад розрахунку A_c у *табл.8.2*.

Таблиця 8.2 – **Приклад розрахунку щорічного приросту A_c врожайності озимої пшениці за 11 років**

Рік	y	$y - \bar{y}$	t_i	t_i^2	$(y - \bar{y})t_i^2$
1959	23,0	0,8	-5	25	-4,0
1960	13,9	-8,3	-4	16	33,2
1961	23,3	1,1	-3	9	-3,3
1962	20,3	-1,9	-2	4	3,8
1963	14,9	-7,3	-1	1	7,3
1964	14,9	-7,3	0	0	0,0
1965	30,4	8,2	1	1	8,2
1966	30,4	8,2	2	4	16,4
1967	22,6	0,4	3	9	1,2
1968	23,5	1,3	4	16	5,2
1969	27,1	4,9	5	25	24,5
Сума	244,3	0,1	0	110	92,5
Середнє	22,2	-	-	-	-
A_c	-	-	-	-	0,84

За даними *табл.8.2* одержуємо $A_c = 92{,}5/110 = 0{,}84 \approx 0{,}8$

Складові частини рівняння визначені. Тепер обчислюємо щорічний статистичний максимум врожайності за формулою (*8.23*):

$$y_i = 40{,}6 + 0{,}8t$$

8.2.2 Метод оцінки гідрометеорологічних умов формування врожаю зернових культур

Кількісну оцінку впливу метеорологічних умов на формування врожаю сільськогосподарських культур проводять за допомогою коефіцієнта продуційності, який представляє собою відношення різниці між фактичним та оптимальним значенням урожаю до біологічного ефективного інтервалу, який має бути виражений в одиницях врожаю даної культури. Коефіцієнт продуційності враховує вплив метеорологічних елементів на формування врожаю в інтервалі від біологічного мінімуму до біологічного максимуму і є відображенням законів мінімуму, оптимуму і максимуму. За його допомогою визначається відповідність між потребами рослин у даний період розвитку та метеорологічними умовами, які склалися в цей же час. Коефіцієнт продуційності змінюється від 0 до 100%. Його нульове значення показує, що даний метеорологічний елемент обумовлює зовсім малу врожайність за певних погодних умов, а коефіцієнт, що становить 100% - максимальну. Цей діапазон розподілено на групи з різною якісною оцінкою умов: від 85 до 100% - сприятливі; від 65 до 84% - задовільні; від 45 до 64% - несприятливі; від 24 до 44% - дуже несприятливі та від 0 до 23% - надзвичайні умови.

Коефіцієнт продуційності (%) за даними В.П.Дмитренка по температурі повітря для формування врожайності від сівби до дозрівання аналітично має вигляд:

$$\eta(T) = \frac{m(t)}{M(T_o)} = 100 \cdot e^{a\left(\frac{T-T_o}{10}\right)^2}, \qquad (8.27)$$

де $\eta(T)$ – відношення реального приросту продукції $m(t)$ при температурі t до найбільш можливого $M(T_o)$ при оптимальній температурі T_o у даний період вегетації;

a – параметр.

Особливості впливу опадів відображаються коефіцієнтами продуційності, котрі можуть бути розраховані у будь-який час вегетації за виразом:

$$\eta(R) = \frac{m(R)}{M(R_o)} = \left(1 + \frac{R - R_o}{R_o - R_{\min}}\right)^{a_1} \cdot \left(1 - \frac{R - R_o}{R_{\max} - R_o}\right)^{a_2} \cdot 100, \qquad (8.28)$$

де $\eta(R)$ – відношення реального приросту продукції $m(R)$ при даній кількості опадів R до максимально можливого приросту $M(R_o)$ при оптимальній сумі опадів R_o у будь-який час вегетаційного періоду;

$R_{\min}=0$ – біологічний мінімум опадів;

$R_{\max}$ – біологічний максимум опадів;

a_1 та a_2 – параметри.

Спільний вплив температури повітря та опадів на формування врожаю у будь-який міжфазний період вегетації оцінюється перемноженням відповідних коефіцієнтів продуційності:

$$\eta(R)=\frac{m(R)}{M(R_o)}=e^{a\left(\frac{T-T_o}{10}\right)^2}\cdot\left(1+\frac{R-R_o}{R_o-R_{\min}}\right)^{a_1}\text{x}$$
$$\text{x}\left(1-\frac{R-R_o}{R_{\max}-R_o}\right)^{a_2}\cdot 100, \qquad (8.29)$$

де $\eta(T,R)$ – відношення реального приросту продукції за реальних умов у будь-який період вегетації до найбільш можливого при оптимальних температурах повітря і кількості опадів.

В цілому за вегетаційний період вплив температури повітря та опадів оцінюється за формулою:

$$S(T,R)=\sum_{i=1}^{n}\eta_i(T)\eta_i(R)\alpha_i\ , \qquad (8.30)$$

де $S(T,R)$ – сумарний коефіцієнт продуційності;

α – ваговий коефіцієнт, що враховує внесок будь-якого міжфазного періоду у формування врожайності за найсприятливішої гущини та маси рослин.

Співмножники $\eta(T)$ та $\eta(R)$ для кожного періоду вегетаційного циклу визначаються за формулами (*8.27*) та (*8.28*). Значення α розраховується за формулою:

$$\alpha=\frac{1}{1+C(1-\tau)e^{-\gamma_o\tau}}, \qquad (8.31)$$

де C – параметр, який відображає вплив агрометеорологічних умов у передпосівний період;

τ – вегетаційний період у частках одиниці;

Таблиця 8.3 – **Оптимальні значення температури повітря (*T*) та опадів (*R*) у різні періоди вегетаційного циклу і параметри для розрахунку коефіцієнтів продуційності**

Період вегетаційного циклу	Місяці	Оптимальна температура повітря T_0, ^{0}C	Параметр *a*		Оптимальна сума опадів R_o,мм	Параметри рівняння (8.29)			Ваговий коефіцієнт α
			$T \le T_o$	$T > T_o$		$R_{макс}$	a_1	a_2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озима пшениця									
Передпосівний	VII-VIII	18	-1	-2	130	526	1/3	1	7
Посів-укорінення	IX-X	13	-1	-2	170	411	1/3	1/2	7
Ріст пагонів	XI	5	-1	-2	120	243	½	1/2	5
Зимовий спокій	XII-II	-0,5	-1	-2	160	552	½	1	29
Утворення генеративних органів	III-V	8	-1	-2	170	709	1/3	1	36
Формування зерна	VI	17	-1	-2	17	320	0	2	9
Дозрівання	VII	22	-1	-2	<10	320	0	2	7
Ярий ячмінь									
Передпосівний	XII-II	-1	-1	-2	100	450	½	2	9
Посів-укорінення	III-IV	4	-1	-2	100	340	1/3	1	30
Формування вегетативних органів	V	13	-1	-2	120	300	1/3	1/2	27
Утворення генеративних органів	VI	18	-1	-2	90	430	½	2	22
Дозрівання	VII	19	-1	-2	<10	420	0	1/2	12

Продовження таблиці 8.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кукурудза ранньостигла									
Передпо-сівний	XII-III	-1	-2	-4	210*	520*	1*	3/2*	17
Сівба-укорінення	IV-V	11	-2	-4	100	340	1	2	27
Формування вегетативних органів	VI-VII	17	-2	-4	180	480	1	3/2	37
Утворення генеративних органів	VIII	16	-2	-4	70	300	1/2	2	12
Дозрівання	IX	11	-2	-4	<10	220	1	2	7
Кукурудза середньостигла									
Передпосів-ний	XII-III	-1	-2	-4	170**	480**	1**	3/2**	15
Посів-укорінення	IV-V	11	-2	-4	100	340	1	2	26
Формування вегетативних органів	VI-VII	18	-2	-4	180	480	1	3/2	38
Утворення генеративних органів	VIII	18	-2	-4	70	300	1/2	2	14
Дозрівання	IX	12	-2	-4	<10	220	1	2	7
Кукурудза пізньостигла									
Передпосів-ний	XII-III	-1	-2	-4	170	480	1	3/2	5
Посів-укорінення	IV-V	12	-2	-4	130	450	1/2	1	23
Формування вегетативних органів	VI-VII	18	-2	-4	180	480	1	3/2	52
Утворення генеративних органів	VIII	18	-2	-4	90	300	1/2	1	14
Дозрівання	IX	14	-2	-4	40	220	1/2	2	6

Примітка:

1. Зірочкою (*) позначені показники для Полісся; для лісостепової і степової зони використовуються показники середньостиглих сортів кукурудзи.
2. Показники позначені двома зірочками (**) для Полісся повинні бути використані тільки для ранньостиглих сортів.

γ_o – середній початковий коефіцієнт самозріджування посівів.

Сумарний коефіцієнт продуційності по температурі повітря та кількості опадів за весь вегетаційний період $S(T,R)$ враховує внесок поіменованих метеорологічних елементів у формування врожайності.

Оцінка гідрометеорологічних умов формування врожаю озимої пшениці, ярого ячменю та кукурудзи за допомогою вищенаведених закономірностей проводиться на території області, району або окремого господарства з рівнинним або слабопересіченим рельєфом.

В.П.Дмитренком встановлені оптимальні значення температури повітря та опадів для озимої пшениці, ярого ячменю та сортів кукурудзи різної скоростиглості (*табл.8.3*).

Надійну оцінку умов формування врожаю можливо одержати, якщо достовірна початкова інформація , особливо про опади, що відзначаються дуже великою нерівномірністю. Тому необхідно мати достатню кількість пунктів спостережень. Наприклад, якщо площа посіву озимої пшениці 65км^2, то треба мати не менше 4-16 опадовимірювальних постів. Температура повітря змінюється значно менше і тому достатньо мати значення температури у двох пунктах, розташованих на відстані не більше ніж 30-40 км один від одного. Авторами методу обчислений необхідний мінімум кількості пунктів спостережень на території різної площі (*табл.8.4*).

Аналіз динаміки коефіцієнтів продуційності показав, що в різні роки в залежності від гідрометеорологічних умов, значення коефіцієнтів змінюється, особливо в аномальні роки. Тому одержання високих врожаїв можливе лише в тому випадку, коли проводиться щорічне корегування технології вирощування культури у відповідності з погодними умовами.

У *табл.8.5* наводяться загальні рекомендації щодо технології вирощування зернових культур при різних значеннях коефіцієнта продуційності.

Модель (формула (*8.23*)) дозволяє також оцінювати вплив несприятливих явищ у загальному вигляді, без розподілу на окремі складові. За оцінку несприятливих явищ можна використати величину недобору (δ) врожаю, яка визначається як:

$$\delta_o = 1 - y_ф / y \,, \qquad (8.32)$$

де y – середній із максимальних врожаїв;

$y_ф$ – врожай при несприятливих явищах.

Таблиця 8.4 – **Необхідний мінімум кількості пунктів спостережень на різній площі**

Площа території		Спостереження над			
км^2	тис.га	опадами з помилкою		температурою з помилкою	
		5%	10%	0,1^{0}С	0,2^{0}С
<10	<1	15	4	1	1
11-200	1-20	16	4	1	1
200-500	20-50	17	5	2	1
500-3000	50-300	18	5	3	1
3000-5000	300-500	19	6	6	2
5000-7000	500-700	20	6	6	2
7000-10000	700-1000	21	6	6	3
10000-15000	1000-1500	22	7	7	3
15000-20000	1500-2000	23	8	8	3
20000-25000	2000-2500	24	8	9	4
25000-30000	2500-3000	25	8	10	4
30000-35000	3000-3500	26	8	11	4
35000-50000	3500-5000	27	9	12	5

Загальний недобір врожаю відбувається за рахунок загальних метеорологічних умов ($\delta_м$) та випадкових і локальних несприятливих явищ і факторів ($\delta_л$):

$$\delta_о = \delta_м + \delta_л ; \qquad (8.33)$$

$$\delta_м = 1 - S(T,R); \qquad \delta_л = \delta_о - \delta_м \qquad (8.34)$$

Таблиця 8.5 – **Загальні рекомендації щодо технології вирощування зернових культур при різних значеннях коефіцієнтів продуційності по температурі повітря та кількості опадів**

Вид технології	Коефіцієнт продуційності, %			Період вегетації
	85-100	65-85	35-65	
Розміщення культур	По будь-яких рекомендованих попередниках	Диференційоване розміщення в залежності від вологості грунту	Розміщення тільки на полях з достатнім та оптимальним зволоженням	Передпосівний
Система обробки грунту	Рекомендований оптимум	Система обробки, що зберігає або підсушує грунт	Система обробки, що зберігає вологу та охолоджує грунт або підсушує грунт та робить його теплішим	Передпосівний і інші в залежності від виду культури
Добрива, дози	Ті ж	Зменшення дози при нестачі вологи та збільшення її при надмірних опадах	Ті ж	У відповідності з агротехнічними правилами
Норма висіву	"-"	Збільшення норми для озимих і ячменю, зменшення для кукурудзи	Збільшення норми	Передпосівний
Заглиблення насіння	"-"	Збільшена глибина при сухому грунті, зменшена при перезволоженні	Збільшення глибини	"-"
Регулювання густоти посіву	"-"	Невелике проріджування	Значне проріджування	У відповідності з агротехнічними правилами
Підсів та пересів	Не проводиться	Частковий підсів і пересів	Значний підсів і пересів	Після відновлення вегетації

8.2.3 Загальна оцінка продуктивності та умов вегетації сільськогосподарських культур

Загальну відносну оцінку продуктивності та умов вирощування будь-якої культури розраховують за допомогою відношення η_j (y) фактичної величини врожаю (y_j) до її потенціалу (y) за формулою:

$$\eta_j (y) = y_j / y, \qquad (8.35)$$

де y_j – фактична величина врожаю у поточному році, ц/га;

y – господарський максимум у тому ж році на тій же території, ц/га.

Показник η_j (y) змінюється від 0 до 100%. Характеристика значень η_j (y) наводиться у *табл.8.6*. Розподіл відносних врожаїв на групи різного рівня виконується за допомогою графіків і зв′язків з $S(T,R)$ і є орієнтовним. В шкалі відносних врожаїв відзначено 6 груп із сприятливими, добрими, задовільними, несприятливими та надзвичайними умовами.

Таблиця 8.6 – **Шкала загальної оцінки продуктивності та умов вегетації сільськогосподарських культур**

Величина врожаю в порівнянні з його потенціалом	Оцінка продуктивності, %	Якісна оцінка продуктивності культури	Оцінка агрометеорологічних умов, %
1.Наближена до господарського максимуму	70-100	Найбільша	85-100
2.Більша за середню між господарським максимуом та економічним мінімумом	55-70	Велика	65-85
3.Середня між названими показниками та наближена до середньої багаторічної	45-55	Середня	35-65
4.Менша за середню між названими показниками	30-45	Мала	-""-
5.На рівні екологічного мінімуму	15-30	Найменша	15-35
6.Економічно збиткова	0-15	Згубна	0-15

Таблиця 8.7 – **Значення господарського максимуму врожаїв зернових культур в областях України станом на 1990 р.**

Область	Господарський максимум врожаїв, ц/га						
	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Кукурудза	Овес	Озиме жито	Просо	Гречка
Вінницька	49	40	49	36	29	29	16
Волинська	42	46	78	34	28	12	11
Дніпропетровська	44	37	51	38	31	32	22
Донецька	50	37	43	36	36	30	21
Житомирська	36	33	57	26	20	18	14
Запорізька	44	34	47	39	34	30	22
Івано-Франківська	43	40	66	35	26	26	17
Київська	47	40	51	35	24	27	17
Кіровоградська	41	39	53	39	32	33	21
Кримська АР	41	37	53	41	34	20	-
Луганська	43	39	40	37	31	31	23
Львівська	40	40	59	31	34	23	14
Миколаївська	39	32	36	34	30	29	19
Одеська	38	36	41	33	30	25	19
Полтавська	49	39	51	35	33	31	19
Рівненська	44	46	69	33	28	24	13
Сумська	44	38	42	32	27	24	15
Тернопільська	48	46	84	35	38	29	16
Харківська	44	40	38	38	33	32	22
Херсонська	42	34	47	35	32	23	17
Хмельницька	43	42	56	37	27	29	20
Черкаська	51	41	62	40	33	32	22
Чернівецька	53	48	68	42	31	-	-
Чернігівська	42	38	52	31	24	22	16

Кожній із груп відповідає чисельна оцінка загальних умов в порівнянні з господарським максимумом та екологічним мінімумом врожайності. Господарський максимум визначається за методом, описаним у розділі *8.2.1*. Він визначений для основних культур для областей України (*табл.8.7*). Економічний мінімум визначається як рівень врожайності, при якому покриваються витрати на вирощування культури у заданих умовах та отримується певний мінімальний прибуток. Економічний мінімум пропорційний середній врожайності, а також

відношенню собівартості до закупівельної вартості. В різних зонах України економічний мінімум озимої пшениці приблизно становить 4-5 ц/га ± 10% середнього врожаю за останні 10 років.

Оцінка загальних умов вегетації сільськогосподарських культур виконується за формулою (*8.35*) з використанням *табл.8.1* та *8.2*.

Оцінка агрометеорологічних умов вирощування сільськогосподарських культур виконується для великих територій (регіон, область) у різні періоди вегетації за спільними коефіцієнтами продуктивності, а також шляхом порівняння коефіцієнтів продуктивності у різних областях.

8.2.4 Оцінка недобору врожаю польових культур

Оцінка недобору врожаю польових культур поділяється на 3 частини: оцінку загального та відносного недобору врожаю (Δ_o), оцінку недобору за рахунок загальних метеорологічних умов ($\Delta_м$) і недобору за рахунок локальних та епізодичних несприятливих умов і факторів ($\Delta_л$ та $\delta_л$) (див.*8.2.2*).

Визначення загального недобору врожаю залежить від вибору задачі: економічної, ресурсної, спеціальної. Для цього за формулою (*8.23*) спочатку виконується розрахунок господарського потенціалу будь-якої зернової культури за інтервал часу. Потім за формулою (*8.33*) оцінюється загальний недобір врожаю за кожен рік інтервалу та його середнє значення. При обчисленні середнього недобору щорічний господарський максимум врожайності обраховується на рік, що відповідає середині ряду величин врожайності. Потім статистичними методами оцінюється характеристика недобору: його динаміка, розподіл загального значення, середньоквадратичне відхилення. Потім виконується аналіз причин, які обумовлюють рівень, фонд, розмах коливань недоборів та інші обставини.

В УкрНДГМІ розрахована сумарна повторність значень δ_o>30 та ≤ 30% зернових культур для економічних районів України (*табл.8.8*).

Суттєво впливає на загальний недобір врожаю недобір його за рахунок загальних метеорологічних умов, $\delta_м$. Розрахунок проводиться за загальним правилом (розділ *8.2.2*).

Аналіз повторностей значень $\delta_м$, виконаний в УкрНДГМІ, (*табл.8.9*) показує, що для кожної зернової культури по економічних районах є свої особливості, які викликані відмінностями агрокліматичних умов районів та біологічними особливостями культур.

Таблиця 8.8 – **Ймовірність *P*(%) значень відносного загального недобору δ_o>30 та ≤ 30% зернових культур в Україні (за даними УкрНДГМІ)**

Економічний район	Озима пшениця		Озиме жито		Ярий ячмінь		Овес	
	>30	≤30	>30	≤30	>30	≤30	>30	≤30
Південно-західний (ПЗ)	58,6	41,4	71,7	28,3	62,9	37,1	74,3	25,7
Донецько-Придніпровський (ДП)	77,9	22,1	74,0	25,1	78,9	21,1	83,6	16,4
Південний (П)	64,3	35,7	82,4	17,6	82,7	17,3	87,6	12,4
Україна	66,1	33,9	74,5	25,5	69,8	30,2	79,2	20,8

Таблиця 8.9 – **Ймовірність *P*(%) значень $\delta_м$>20 та ≤ 20% зернових колосових культур по економічних районах**

Економічний район	Озима пшениця		Озиме жито		Ярий ячмінь		Овес	
	≤20	>20	≤20	>20	≤20	>20	≤20	>20
Південно-західний (ПЗ)	49,9	50,1	95,0	5,0	91,7	8,3	24,1	75,9
Донецько-Придніпровський (ДП)	47,1	52,9	88,2	11,8	57,4	42,6	48,2	51,8
Південний (П)	46,2	53,8	84,4	15,6	42,0	58,0	73,1	26,9

Недобір врожаю за рахунок локальних та епізодичних несприятливих явищ та факторів включає всі ті причини, що не увійшли до попередніх показників. Сюди відносяться: господарські негаразди, порушення технології вирощування, невідповідність технологій кліматичним умовам, втрати від шкідників та хвороб, несвоєчасне та неправильне вживання добрив, короткочасні несприятливі метеорологічні явища та ін. Цей показник дає підстави для приведення організації та технологій виробництва у відповідність з поставленою метою.

Також визначена структура загального недобору врожаю зернових в Україні (*табл.8.10*).

Таблиця 8.10 – **Структура (%) загального недобору врожаю зернових колосових культур в Україні (за даними Укр НДГМІ)**

Культура	Економічний район			Україна
	Південно-Західний	Донецько-Придніпровський	Південний	
Озима пшениця	65 35	56 44	61 39	61 39
Озиме жито	30 70	32 68	38 62	32 68
Ярий ячмінь	36 64	49 51	58 42	46 54
Овес	68 32	54 46	36 64	56 44

Величина недобору зерна колосових залежить від умов тепло- та вологозабезпеченості. Існує тісний зв′язок між загальним недобором врожаю та недобором через локальні несприятливі явища.

Розрахунок недоборів зерна, визначення їх величини та причин дозволить вирішити цілу низку задач у господарстві.

8.3 Оцінка агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи

Метод оцінки агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи складено на основі одержаних Ю.І.Чирковим [3,6] кількісних показників зв’язку росту, розвитку та формування врожаю кукурудзи з факторами світла, тепла та вологи.

8.3.1 Оцінка агрометеорологічних умов розвитку кукурудзи у період від посіву до сходів

Оцінка поточних та очікуваних агрометеорологічних умов стосовно розвитку кукурудзи від сівби до сходів необхідна господарським організаціям для обгрунтування термінів сівби, заглиблення насіння та характеристики умов його проростання.

У цей період головними факторами, які визначають міру сприятливості агрометеорологічних умов для розвитку кукурудзи, є температура та вологість грунту. Мінливість цих елементів у верхніх шарах грунту значна навіть у межах окремого поля. Тому кількісні

показники зв'язку темпів розвитку з факторами тепла та вологи були встановлені за допомогою численних польових дослідів.

При достатньому зволоженні грунту (більше 15 мм продуктивної вологи у шарі 10 см) темп проростання насіння кукурудзи залежить, головним чином, від температури грунту. При 7-8^{0}С помітного проростання насіння не спостерігається. При температурі 11-12^{0}С проростання починається через 7-8 днів, при 18-22^{0}С - через 2-3 дні. При вологозабезпеченості нижче 15 мм у шарі 0-10 см зв'язок темпів розвитку з температурою порушується, проростання насіння уповільнюється. Визначення сум температур періоду сівба-початок проростання та від початку проростання насіння до появи масових сходів показує, що найменшу мінливість мають суми ефективних температур грунту, які підраховувались від 8^{0}С.

Для періоду від сівби до проростання насіння кукурудзи (при оптимальному зволоженні грунту) ця сума складає 28,3^{0}С для різних сортів та гібридів.

У період від початку проростання до сходів темпи росту проростків кукурудзи також тісно пов'язані з температурою грунту. За цей період при заглибленні насіння на 4 см сума ефективних температур грунту [3] у середньому складає 55^{0}С з відхиленнями крайніх величин у межах +6^{0}С. В цілому за період від сівби до сходів при заглибленні насіння на 4 см та запасах продуктивної вологи у шарі 10 см більше 15 мм сума ефективних температур у середньому складає 82-83^{0}С.

Перевірка цих даних підтвердила стійкість цього показника для сортів та гібридів різної скоростиглості. Так, наприклад, при сівбі 20 травня масові сходи кукурудзи 14 сортів та гібридів спостерігають в один і той же день – 7 червня. Сума ефективних температур грунту на заглибленні насіння складала за цей період 84,9^{0}С при вологості грунту у 10-сантиметровому шарі 20-23 мм.

Збільшення величини заглиблення насіння кукурудзи викликає необхідність збільшувати суму ефективних температур, яку потребує культура для появи сходів. Якщо запаси вологи у шарі 0-10 см у межах заглиблення насіння від 4 до 12 см недостатні, то сума ефективних температур збільшується у середньому на 7^{0}С на кожний сантиметр заглиблення. Сума ефективних температур, необхідна для розвитку кукурудзи в період сівба-сходи з поправкою на заглиблення насіння (у межах від 4 до 12 см глибини), розраховується за формулою:

$$A = 83 + (h \pm 4), \qquad (8.36)$$

де A – сума ефективних температур (8^0С);

83 – сума ефективних температур за період при заглибленні насіння 4 см;

h – глибина знаходження насіння у грунті (в см).

Зі зменшенням вологості грунту проростання насіння уповільнюється, тривалість періоду від сівби до сходів зростає, тож зростає і сума температур вище 8^0С, яка накопичується за період. Була розрахована поправка, що вводиться до показника сум температур при вологості грунту від 15 до 5 мм (*табл.8.11*).

Таблиця

8.11 – **Поправка (*c*) на величину вологості грунту в шарі 0-10 см**

Запас продуктивної вологи (мм) в шарі грунту 0-10см	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
Поправка (*c*)	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,51	0,44	0,37	0,30

З введенням поправки (*c*) рівняння (*8.36*) набуває вигляду:

$$A = \frac{83 + 7(h - 4)}{c} \qquad (8.37)$$

О.О.Скворцов швидкість розвитку рослин за добу ($1/n$) розраховував за виразом:

$$1/n = (t - B)/A \quad , \qquad (8.38)$$

де t – середня температура, ^{0}С;

B – біологічний мінімум = 8^0С для кукурудзи;

A – сума ефективних температур = 83^0С;

n – тривалість періоду, дні.

Тоді для кукурудзи:

$$n = \frac{\frac{1}{c}[83 + 7(h - 4)]}{t - 8} \qquad (8.39)$$

За оптимальних умов зволоження та температури період від сівби до появи сходів становить 7-9 днів. Швидкість розвитку за добу – 0,11 - 0,14. Оцінка 5 балів. Загибелі насіння та проростків за таких умов не спостерігається, сходи бувають дружними, загартованими. Швидкість розвитку за добу 0,03 - 0,02 характеризує незадовільні умови (2 бали), коли розвиток відбувається у 4-5 разів повільніше, аніж в оптимальних умовах.

Відомо, що коли насіння тривалий час знаходиться у холодному вологому грунті, то відбувається масове пошкодження його шкідниками та хворобами. Повільне проростання у слабозволоженому теплому грунті також викликає послаблення проростків та зрідженість посівів. Умови, за яких проростання зерна не відбувається, оцінюються балом 1. Показники оцінок умов розвитку кукурудзи у період від сівби до сходів розраховані для нечорноземної (*табл.8.12*) та чорноземної зон (*табл.8.13*).

Таблиця 8.12 – **Показники оцінки умов розвитку кукурудзи в період сівба-сходи у нечорноземній зоні (у балах)**

Середня температура грунту (^{0}C)	Вологість грунту у шарі 0-10 см (у мм)		
	≥15	10	≤8
17-20	5	4	3
13-16	4	3	2
11-12	3	2	-
<11	2	-	-

У чорноземній зоні, на полях якої заглиблення насіння становить 8-10 см і у період сівби кукурудзи теплозабезпеченість вища, аніж у нечорноземній зоні, показники оцінок агрометеорологічних умов дещо інші.

Таблиця 8.13 – **Показники оцінок умов розвитку кукурудзи у період від сівби до сходів у чорноземній зоні**

Середня температура грунту (^{0}C)	Вологість грунту у шарі 0-10 см (у мм)			
	≥15	12-10	9-7	< 7
18-23	5	4	3	2
14-17	4	3	2	-
12-13	3	2	-	-
<12	2	-	-	-

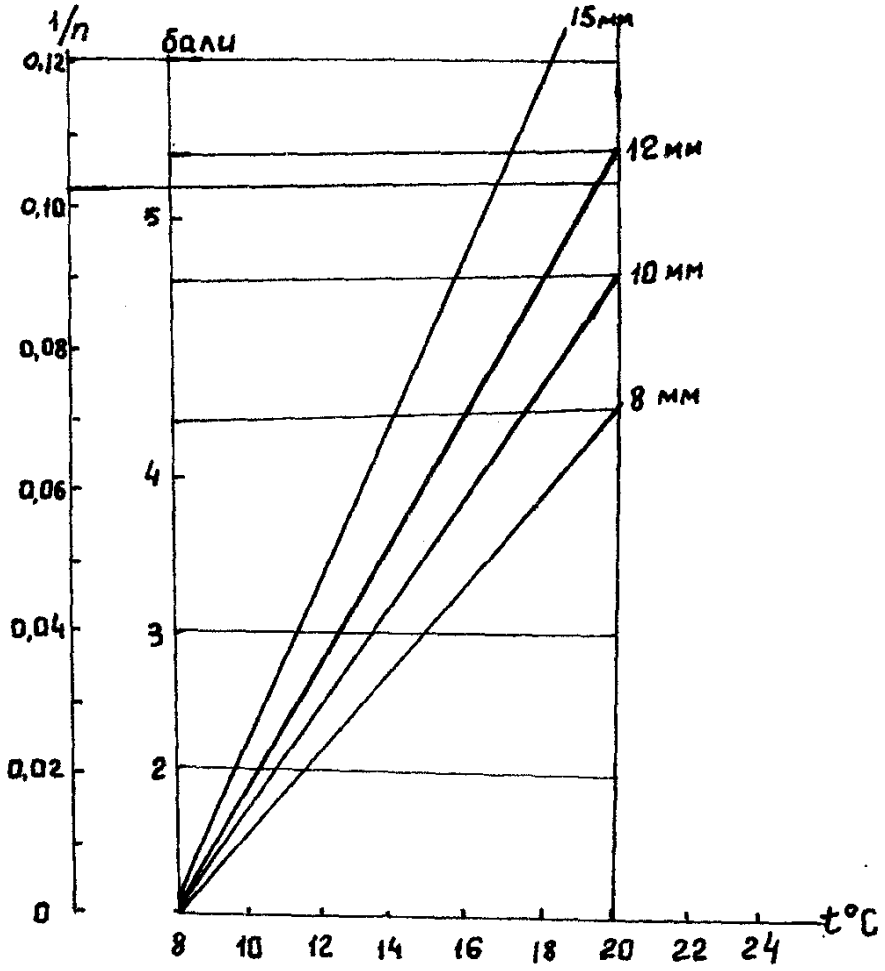


Рис.8.3 – **Оцінка агрометеорологічних умов розвитку кукурудзи (у балах) у період від сівби до сходів за запасами продуктивної вологи (за Ю.І. Чирковим).**

Оцінку агрометеорологічних умов можливо виконувати за допомогою графіка (*рис.8.3*) як для окремих пунктів, так і для великих територій. Оцінку агрометеорологічних умов на великих площах виконують за даними температури повітря, які дають осереднену характеристику термічних умов проростання насіння кукурудзи на території, що обслуговується. При цьому слід мати на увазі, що у весняний період після переходу середньої за добу температури повітря через 10^0С верхній горизонт орного шару грунту майже завжди буває теплішим за повітря на висоті 2 м.

Приклад. Розрахувати оцінку агрометеорологічних умов від сівби кукурудзи до появи сходів на агрометстанції Херсон. Чорноземна зона. Сівба 25 квітня. Заглиблення насіння на 6 см. Розрахунки наводяться у *табл.8.14*.

Таблиця 8.14 – **Розрахунок оцінок агрометеорологічних умов формування рослинної маси кукурудзи**

(Нечорноземна зона)

Період	Середня температура грунту на глибині 5 см, ^{0}С	Запаси продуктивної вологи (мм) у шарі грунту 0-10см	За графіком			Оцінка у балах за таблицею 8.13
			Середня швидкість розвитку за добу	Сумарний показник швидкості розвитку за період	Оцінка у балах	
26-30.IV	11,6	15	0,040	0,200	3	3
1-10.V	18,8	12,1	0,066	0,660	4	4
11-12.V	18,3	12	0,090	0,180	4	4
В цілому за період						
26.IV-12.V	14,7	-	0,065	1,040	4	-

8.3.2 Оцінка агрометеорологічних умов розвитку кукурудзи в період від появи сходів до викидання волоті

У тривалий період від сходів до викидання волоті у кукурудзи відбувається процес листоутворення, формування генеративних органів, утворюється головна кількість зеленої маси та формуються елементи, що визначають продуктивність початків. В цей період темпи розвитку кукурудзи та накопичення органічної речовини тісно пов'язані з температурним режимом, умовами зволоження та освітлення. У польових умовах напруга цих факторів може змінюватись у значних межах, визначаючи при цьому міру сприятливості всього комплексу агрометеорологічних умов для вирощування кукурудзи.

Температурний режим значною мірою визначає інтенсивність накопичення маси. У межах від 10 до 20^{0}С інтенсивність приросту в умовах достатнього зволоження (найменша вологоємність) зростає майже пропорційно підвищенню температури. При температурі повітря більше 20-22^{0}С внаслідок збільшення інтенсивності дихання та інактивації хлоропластів накопичення органічної речовини відбувається повільніше, ніж зростає температура. При температурі більше 33-36^{0}С приріст маси кукурудзи у польових умовах завжди уповільнюється.

Нестача грунтової вологи посилює негативну дію високих температур. При недостатньому водопостачанні листя перегрівається та в'яне навіть при меншому значенні високої температури.

Тривала нестача грунтової вологи обумовлює слабкий ріст листя і недостатній розвиток асимілюючої поверхні.

При тривалому перезволоженні грунту (80% повної вологоємності) через погіршення аерації приріст кукурудзи зменшується. Несприятливі умови для накопичення маси кукурудзи складаються також при поєднанні перезволоження із зниженими температурами.

Найбільш характерним показником сприятливості умов вирощування кукурудзи у період листоутворення є інтенсивність накопичення маси, тобто її кількість, яка утворилась за одиницю часу на одиницю площі листової поверхні. Величина інтенсивності приросту встановлювалась по відношенню валового приросту рослин за декаду до середньої за дану декаду площі листя.

При температурі, близькій до 10^{0}С, приріст маси кукурудзи практично припиняється.

Оптимальні умови для формування врожаю маси складаються при середній температурі повітря 20-24^{0}С і запасах продуктивної вологи 35-45 мм у шарі 0-20 см на опідзолених та 60-70 мм у шарі 0-50 см на чорноземних грунтах. Інтенсивність накопичення рослинної маси кукурудзи за різних агрометеорологічних умов може давати

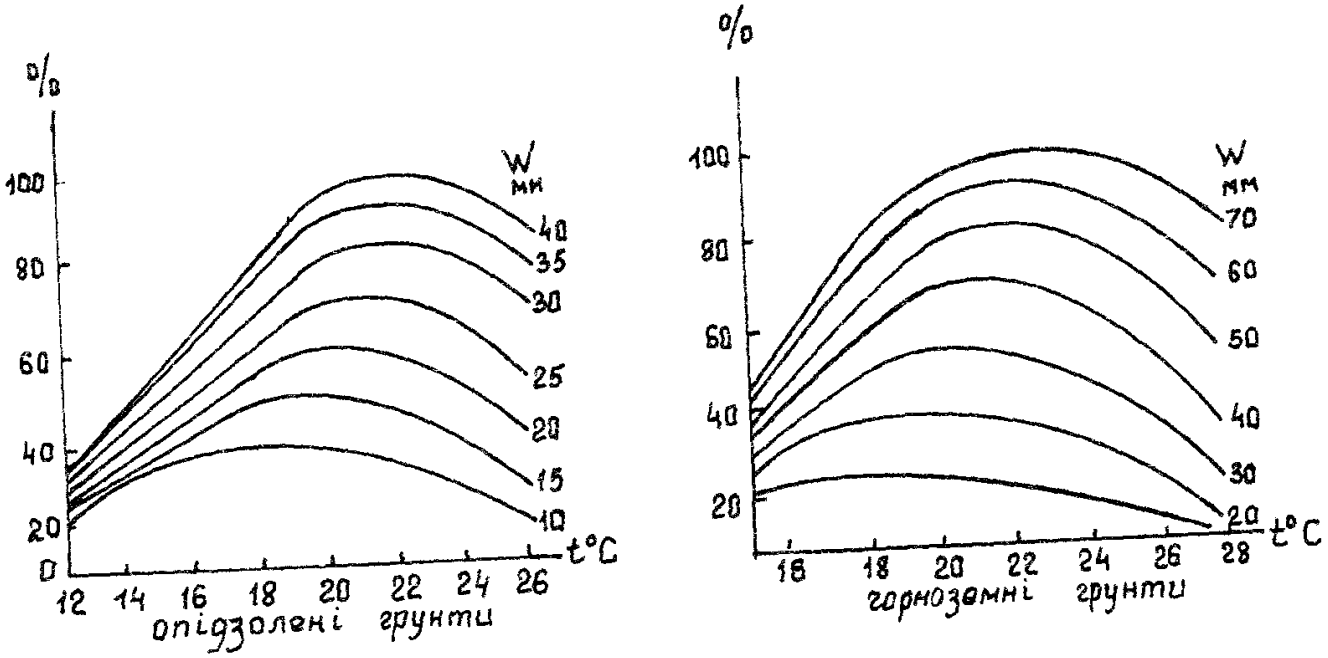


Рис.8.4 – **Оцінка агрометеорологічних умов інтенсивності накопичення рослинної маси кукурудзи (% оптимальних) у період листоутворення в залежності від температури повітря та запасів продуктивної вологи у шарі грунту 0-20 см.**

характеристику у відносних одиницях (у відсотках оптимальних умов) оцінки агрометеорологічних умов. Ю.І.Чирковим було знайдено зв'язок інтенсивності накопичення маси з температурою повітря та вологістю грунту (*рис.8.4*) для зони опідзолених та чорноземних грунтів. Розрахунок запасів продуктивної вологи виконується з *рис.8.5, 3.9* і *3.10*.

Розрахунок проводиться за початковими запасами вологи у шарах 0-20 та 0-50-і значеннями опадів. До розрахованої величини вводиться поправка на тривалість дня (*табл.8.16*).

Таблиця 8.15– **Співвідношення кількісних показників оцінки агрометеорологічних умов накопичення рослинної маси кукурудзи**

Бали	5	4	3	2	1
Інтенсивність накопичення рослинної маси, %	100-85	84-60	59-40	39-17	<17

На формування рослинної маси значно впливають умови освітлення, тобто тривалість дня, яка у зоні вирощування кукурудзи змінюється від 19 до 13 год. у період вегетації. Тому в оцінку умов накопичення рослинної маси (*г*) вводиться поправка на тривалість дня (*табл.8.16*).

Таблиця 8.16 – **Поправочний коефіцієнт (*c*) на тривалість дня (τ)**

Тривалість дня, год	13	14	15	16	17	18	19
Поправочний коефіцієнт	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15

Приклад. Розрахувати оцінку агрометеорологічних умов формування кукурудзи (з *рис.8.4*). Розрахунки наведені у табл.*8.17* (Нечорноземна зона)

Таблиця 8.17 – **Приклад розрахунку**

П о к а з н и к и	**Липень**		
	1	2	3
Середня декадна температура повітря, ^{0}С	17,0	21,0	20,0
Запаси продуктивної вологи, мм	20	35	30
Відносна інтенсивність накопичення маси у % (за графіком)	42	89	78
Поправка на тривалість дня	1,05	1,05	1,00
Інтенсивність накопичення РМ з поправкою на тривалість дня (%)	43	90	79
Оцінка агрометеорологічних умов у балах (за табл. 8.15)	3	5	4

Оцінка агрометеорологічних умов стосовно темпів розвитку кукурудзи у період від появи 3-го листка до викидання волоті проводиться за зв'язком швидкості появи чергового листка з температурою повітря. Швидкість появи кожного чергового листка визначається в цілому температурним режимом. Найбільш чіткий зв'язок темпів листоутворення спостерігається з ефективними температурами повітря, що підраховуються від 10^{0}С.

Термічні показники темпів листоутворення використовуються для прогнозування фаз розвитку і оцінки агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи. Таким показником є сума ефективних температур повітря, яка накопичується за один міжлистковий період. Для переважної більшості сортів та гібридів кукурудзи вона складає 30 ± 2^{0}С. У південних районах країни цей показник дещо вищий через те, що в денні жаркі години кукурудза використовує тепло менш ефективно. Врахування дії високих температур проводиться за допомогою поправочного коефіцієнта *С*. Величина *С* залежить від середньої температури періоду (тиждень, декада та ін.), для якого виконується оцінка.

З врахуванням поправки зв'язок тривалості одного міжлисткового періоду з середньою температурою повітря має вираз:

$$n = \frac{30}{C(t-10)} \qquad (8.40)$$

Зв'язок тривалості всього періоду листоутворення з температурою має вигляд:

$$n = \frac{30(N+1)}{C(t-10)}, \qquad (8.41)$$

де C – поправка, визначається за *табл.8.18*;

N – кількість міжлисткових періодів до появи останнього листка;

t – середня температура періоду, ^{0}С.

Таблиця 8.18 – **Величина поправочного коефіцієнта С на температуру повітря**

Температура повітря, ^{0}С	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Значення *С*	0,96	0,96	1,0	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87	0,87	0,80	0,76

Оскільки кількість листків на 1 рослині є постійною сортовою ознакою, то це дає можливість розрахувати потребу у теплі різних за скоростиглістю сортів (*табл.8.19*).

Таблиця 8.19 **– Потреба у теплі різних сортів кукурудзи (у сумах ефективних температур повітря вище 10^{0}С)**

Головні групи сортів	Кількість листків на 1 рослині	Суми ефективних температур від 3-го листка до викидання волоті, ^{0}С
Пізньостиглі (Одеська 10, Краснодарська 1/49)	19-21	510-57
Середньопізні (ВІР-42, Стерлінг)	17-18	450-480
Середньостиглі (Буковинська 3, гібрид Дніпровський, Харківська 23)	15-16	390-420

Вплив вологозабезпеченості на темпи утворення листків спостерігається лише при значному зменшенні запасів продуктивної вологи (менше 20 мм у шарі грунту 0-50 см). У випадках зменшення запасів вологи нижче критичного значення темп утворення листя уповільнюється та порушується зв'язок з термічним режимом. У нечорноземних районах оцінку агрометеорологічних умов у балах виконують тільки за термічними показниками, бо у переважну більшість років умови зволоження там добрі (*табл.8.20*).

Таблиця 8.20 – **Показники оцінки термічних умов розвитку кукурудзи за тривалістю міжлисткових періодів**

Оцінка умов у балах	Тривалість міжлисткового періоду (у днях)	Середня температура повітря, ^{0}C
5	2-3	20-25
4	3-4	17-19
3	5-7	14-16
2	8 і більше	< 14

Оцінку агрометеорологічних умов за *табл.8.19* проводять, починаючи з фази 3-го листка до настання фази викидання волоті.

8.3.3 Оцінка агрометеорологічних умов формування елементів продуктивності початків кукурудзи

Залежність продуктивності початків від агрометеорологічних умов виявляється вже на 1V-V1 етапах органогенезу за багато днів до появи стовпчиків і початку їх запліднення. Було встановлено зв'язок розвитку початків з температурою повітря та зволоженням грунту.

При середній за добу температурі повітря 30^{0}C та запасах вологи менше 20 мм у шарі грунту 0-50 см відмирає до 30-40% колоскових бруньок.

Період від викидання волоті до появи стовпчиків в умовах спекотної погоди при запасах продуктивної вологи менше 20 мм у півметровому

шарі триває до 12-16 днів. Суха, спекотна погода викликає зменшення кількості зерен у початках.

Наливання зерна найкраще відбувається при середній температурі повітря 20-24^{0}С та запасах продуктивної вологи у півметровому шарі грунту 60-70мм і більше. Тривалість періоду від фази викидання волоті до молочної стиглості, головним чином, визначається термічним режимом (*табл.8.21*).

Таблиця 8.21 – **Суми ефективних температур повітря (вище 10^{0}С), необхідні від викидання волоті до молочної стиглості у сортів та гібридів різної скоростиглості**

Сорти та гібриди		
Пізні та середньопізні	Середньостиглі	Середньоранні та ранньостиглі
280^{0}С	260^{0}С	240^{0}С

Якщо у цей період запаси продуктивної вологи зменшуються до 25-20 мм і менше, то на тривалість періоду негативно впливають високі температури. У південних районах, оцінюючи агрометеорологічні умови у період від викидання волоті до молочної стиглості, враховують, що підвищення середньої температури повітря вище 20^{0}С тривалості періоду не змінює.

Ю.І.Чирковим розроблена оцінка умов вирощування кукурудзи у нечорноземній та чорноземній зонах у період формування репродуктивних органів (*табл.8.22*)

Якщо у районах з чорноземними грунтами запаси вологи зменшуються до величини менше 20 мм, то оцінка умов завжди буде 2 бала.

Таблиця 8.22 – **Оцінка агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи в залежності від спільного впливу температури повітря та запасів продуктивної вологи**

Запаси продуктивної вологи у шарі 0-20см (мм)	Бали						
	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	5,0	4,9-4,0	3,9-3,0	2,9-2,0
а) Нечорноземна зона Температура повітря, ^{0}С							
40	<14,5	14,6-16,6	16,6-18,9	19,0-26,0	-	-	-
30	<15,0	15,0-17,6	17,7-26,0	-	-	-	-
20	<16,0	16,1-25,0	-	-	-	-	25,1-26,0
Запаси продуктивної вологи у шарі 0-50 см (мм)	Бали						
	2,0-2,9	3,0-3,9	4,0-4,9	5,0	4,9-4,0	3,9-3,0	2,9-2,0
б) Чорноземна зона Температура повітря, ^{0}С							
70	<14,0	14,0-16,2	16,3-18,6	18,7-26,8	26,9-28,0	-	-
60	<14,0	14,0-16,7	16,8-19,4	19,5-25,3	25,4-28,0	-	-
50	<15,0	15,0-17,5	17,6-26,7	-	-	26,8-28,0	-
40	<15,0	15,0-18,5	18,6-24,4	-	-	24,6-27,0	>27,0
30	<16,4	16,5-24,7	-	-	-	-	>24,6
20	<18,5	18,5-20,5	-	-	-	-	>20,5

8.4 Кількісна оцінка впливу посушливих явищ на врожайність ярої пшениці

Посушливі явища значно впливають на продуктивність сільськогосподарських культур. За останні два десятиріччя збільшилось число комплексних кількісних методів оцінки впливу посух на продуційність сільськогосподарських культур з врахуванням їх видової та сортової специфіки. Розширення знань про систему грунт-рослина-атмосфера дозволило розробити екофізіологічні моделі найважливіших процесів. Ці розробки узагальнюються у вигляді динамічних моделей формування врожаїв конкретних сільськогосподарських культур.

Модель «погода-врожай» [20,63,64,65] дозволяє на підставі 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 деякі характеристики водного режиму грунту, сумарне випарування. Ця інформація дає можливість аналізувати вплив посух на поточний стан та продуктивність посівів та ін.

Динамічна модель формування врожаю ярої пшениці є обновленою модифікацією моделі «погода-врожай» [16], яка вперше враховує видову специфікацію ярої пшениці, а також особливості водно-теплового режиму грунтів 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:

$$\alpha_s = 1 - (\alpha_l + \alpha_r + \alpha_R) \qquad (8.42)$$

Чисельні значення параметрів наведені у *табл.8.23*.

Таблиця 8.23 – **Головні параметри моделі «погода-врожай» для ярої пшениці**

Параметр	Оцінка параметра	Параметр	Оцінка параметра
T_0	5^0C	L_R	0,3
$T_{0н}$	20^0C	S_R	0,3
T_R	27^0C	r_R	0,3
T_{0p}	21^0C	K_{so}	53,49 мм/доб
α	0,023 мг/кал	ΔW	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	$0{,}16\cdot10^{-3}$ мм/доб
R_0	0,01 доб$^{-1}$	ρ_r	0,103 мг/см^3
ε	0,67мгCH_2O/мгCO_2	q_r	1,17 см
d_1	$0{,}15\cdot10^{-3}$см$^{-1}$	ε_0	1,498 мм/доб
a_2	$0{,}4\cdot10^{-3}$см$^{-1}$	ε_1	$0{,}4\cdot10^{-3}$см$^{-1}$
c	$54\cdot10^{-5}$г/см^3	m	0,745
σ_s	0,289	r_{cut}	85,6 с/см
σ_R	1,0	Z_r	38,75

Параметри біологічних функцій моделі наведені у *табл.8.24*.

Таблиця 8.24 – **Параметри біологічних функцій моделі «погода-врожай» для ярої пшениці**

Значення		x_1	x_2	x_3	x_4
параметр	індекс				
α_{p_1}	l	0,568	3,453	0,226	-
	r	0,489	2,586	-0,013	-
	R	1,000	2.270	1,740	-
$\alpha_{p_{11}}$	l	33,525	7,062	-0,552	-
	r	0,034	27,011	-0,025	-
	R	1,000	2,270	0,74	-
β_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
γ_p	l	1,0	0,189	666,0	-
	r	1,0	0,628	940,4	-
	R	1,0	1,319	963,0	-
λ_p	l	1,814	0,024	2016,8	-
	r	0,026	2,170	994,4	-
	R	0,022	0,103	1066,0	-

Як аргумент усіх біологічних функцій моделі взято біологічний час, що визначається у моделі двома способами. Аргументом біологічних функцій λ_p, β_p, γ_p є сума ефективних температур ω^j, яка підраховується від сходів:

$$\omega^j = \omega^{j+1} + (t^j - t_o), \text{ якщо } t^j \geq t,$$

інакше

$$\omega^j = \omega^{j-1}, \tag{8.43}$$

де t^j – середня за добу температура повітря, ^{0}C;

t_o – біологічний нуль = 5^0C.

Слід враховувати, що при визначенні ефективних температур ярої пшениці до колосіння, необхідно виключати так звані «баластні» температури, тобто середні за добу температури вище 20^0C. Це дозволить зменшити середньоквадратичну помилку визначення на 28%. Тому сума

ефективних температур визначається від появи сходів за виразами (*8.44-8.46*):

$$\omega_{вк}^{j} = \omega_{вк}^{j-1} + (t^{j} - t_{o}), \text{ якщо } t_{c} < t^{j} < t_{он} \quad (8.44)$$

$$\omega_{вк}^{j-1} = \omega_{вк}^{j-1} - (t_{он} - t), \text{ якщо } t^{j} > t_{он} \quad (8.45)$$

$$\omega_{вк}^{j-1} = \omega_{вк}^{j-1}, \text{ якщо } t^{j} \le t_{o}, \quad (8.46)$$

де $t_{он}$ – 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 $\omega_{вк}^{j} = \omega_{R}$ і обрахування ростових функцій відбувається за допомогою звичайної суми ефективних температур, яка підраховується від колосіння.

Ростові функції представлені аналітичним виразом:

$$\alpha_{рк}^{j} = x_{1} \cdot \exp[-x_{2}(A_{k}^{j} - x_{3})^{2}] к \in \mathrm{I}, \mathrm{II}, p \in l, r, R, \quad (8.47)$$

де x_1 – максимальне значення функції;

x_2 – коефіцієнт, який характеризує нахил графіка функції;

A_k^j – аргумент функції;

$$A_{1}^{j} = \frac{\omega_{вк}^{j}}{\omega_{R}}, \; A_{11}^{j} = \frac{\omega_{вк}}{\omega_{B}} \quad (8.48)$$

де ω_R, ω_B – суми температур на момент колосіння та воскову стиглість;

x_3 – час настання максимуму функції.

Інші біологічні функції (λ_p, β_p, γ_p) розраховуються через *RF* за формулою:

$$RF = x_{1} \cdot \exp\left[-x_{2}\left(\frac{\omega - x_{3}}{100}\right)^{2}\right] \quad (8.49)$$

де $\lambda_p = RF$;

$\beta_p = RF + x_4$;

$\gamma_p = RF$;

$x_З$ – сума ефективних температур, при якій спостерігається максимум функції;

x – асимптота функції.

Змінні L^j та LC^j подвійно впливають на Φ^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, фотосин-тезують стебла і колосся, тому для розрахунків фотосинтезу посівів площа листя, стебел та колосся підсумовується:

$$L^j = \beta_l^j \cdot m_l^j + \beta_s^j \cdot m_s^j + \begin{cases} 0, \text{якщо } \omega_{вк}^j \le \omega_R \\ \beta_R^j m_R, \text{якщо } \omega_{вк}^j > \omega_R \end{cases}$$

$$LC^j = \gamma_l^j \beta_l^j \cdot m_l^j + \sigma_s \gamma_s^j \beta_s^j \cdot m_s^j + \begin{cases} 0, \text{якщо } \omega_{вк}^j \le \omega_R \\ \sigma_R \gamma_R^j \beta_R^j m_R^j, \text{якщо } \omega_{вк}^j > \omega_R \end{cases}, \qquad (8.50)$$

де σ_s, σ_R – коефіцієнти (≤1), що дорівнюють відношенню фотосинтезу одиниці площі стебел або колосу до фотосинтезу одиниці площі листової поверхні.

Температурна залежність фотосинтезу має вираз:

$$\psi_T^j = \begin{cases} 1 - 2x^2, \text{якщо } 0 < x < 0{,}5 \\ 2(1-x)^2, \text{якщо } 0{,}5 \le x < 1 \\ 0, \text{якщо } T^j < T_o, \text{або } T^j \le 35^0\text{C} \end{cases}, \qquad (8.51)$$

$$\text{де } x = \begin{cases} \dfrac{T_{op} - T^j}{T_{op} - T_o}, \text{якщо } T^j < T_{op} \\ \dfrac{T^j - T_{op}}{35 - T_{op}}, \text{якщо } T^j > T_{op} \end{cases}$$

T_{op} – оптимальна температура для фотосинтезу, яка дорівнює для ярої пшениці 21^0С.

Температурна залежність дихання має вираз:

$$\varphi_T^j = 2^{0,1(T^j - T_R)}, \qquad (8.52)$$

де T_R – температура, за якої $\varphi_T^j = 1$.

Алгоритм зростання коріння має вираз:

$$Z^j = \frac{m_r^j}{\rho_r}, \text{ якщо } Z^j > Z^{j-1}, \quad \text{інакше} \quad Z^j = Z^{j-1}$$

$$\mu_i^j = \exp\left[-q_r \frac{10(i-1)}{Z^j}\right] - \exp\left[-q_r \frac{10i}{Z^j}\right], \qquad (8.53)$$

де Z^j – нижня межа розповсюдження коріння за умов, що його щільність дорівнює ρ_r (мг сухої маси коріння на 1см^3 грунту) та не змінюється з глибиною;

q_r – параметр;

i – шар грунту;

μ_i^j – частка коріння в i-ому шарі грунту.

Водний блок моделі «погода-врожай» складається з двох розділів: розрахунку ефективних опадів і розрахунку вологості грунту. Під ефективними розуміють опади, що поглинаються грунтом. Тому із загальної суми опадів визначають кількість вологи, яка витрачається на змочування рослин:

$$P_{еф}^{*\,j} = R^j - 0,2, \quad \text{якщо} \quad \omega_{вк}^j < \omega_R^j ;$$

$$P_{еф}^{*\,j} = R^j - 0,9, \quad \text{якщо} \quad \omega_{вк}^j \geq \omega_R^j ; \qquad (8.54)$$

та витрати опадів на стік за допомогою формули Аракави:

$$\kappa_r^j = \left[1 + \left(\frac{W_1^{ПВ} - W}{P_{еф}^{*\,j}}\right)^n\right]^{1/n} - \frac{W_1^{ПВ} - W_1^j}{R_{еф}^{*\,j}}, \qquad (8.55)$$

де k_r^j – коефіцієнт стоку;

n – параметр;

$W^{ПВ}$ – повна вологоємність;

W_1^j – поточні запаси продуктивної вологи верхнього 10-сантиметрового шару грунту.

Вологість грунту розраховується як результат вирішення рівняння:

$$\frac{\mathrm{d}W_i}{\mathrm{d}t} = q_{i-1} - q_i - TR_i - \sigma_i E \qquad (8.56)$$

де t – час;

W_i – вологозапаси i-го шару грунту, ($i=\overline{1,14}$);

q_{i-1}, q_i – потоки води через верхню та нижню межу i-го шару;

TR_i – витрати води на транспірацію;

E – випарування грунту;

σ_i – логічна змінна, яка дорівнює 1 при i=1 та 0 для інших шарів грунту.

Транспірація (TR) та випарування з грунту (E) розраховується за такими формулами:

$$TR^j = \varepsilon_o (d^j)^m \left[1 - \exp(-0{,}412 LG^j)\right] \frac{r_{st}^j + r_{cut}}{r_{st}^j \cdot r_{cut}} \qquad (8.57)$$

$$E^j = \left[\frac{1 - \exp(-0{,}412 LG^j)}{1{,}22 (LG^j)^{1{,}19}}\right] \exp(-\varepsilon \psi_1{}^j) \varepsilon_o (d^j)^m, \qquad (8.58)$$

де d – середній за добу дефіцит насичення повітря;

ψ_i^j – водний потенціал верхнього 10-сантиметрового шару грунту;

ε_o, ε_1, m_1, r_{cut} – емпіричні параметри, їх оцінки наведені у *табл.8.23*.

Водний потенціал розраховується на основі визначення вологості грунту:

$$\psi_i^j = 15 \cdot 10^3 \exp\left(-7{,}76 \frac{W_i^j - W_i^{ВЗ}}{W_i^{ПВ} - W_i^{ВЗ}} \right) \qquad (8.59)$$

Приклад розрахунку.

Всі початкові дані, необхідні для проведення розрахунків, розподіляються на *чотири групи*: константи часу і місця, грунтові константи, характеристики стану посіву та грунту, метеорологічні дані.

1 *група*:

а) φ – географічна широта місця (градус);

б) t_o – номер доби від умовного 0 - 20 березня;

в) ω_o – біологічний час - сума ефективних температур від сходів до початку розрахунків;

г) ω_R – середня багаторічна або фактична сума ефективних температур за період сходи - кущіння;

д) ω_B – середня багаторічна або фактична сума ефективних температур за період сходи - колосіння;

2 *група*:

а) $W_1^{ВВ}$ – вологість в'янення (мм) грунту по десятисантиметрових шарах до метра;

б) $W_1^{ПВ}$ – повна вологоємність (мм) грунту по десятисантиметрових шарах;

3 *група*:

а) m_l^o, m_r^o – значення сухої біомаси (ц/га) листя та коріння на дату сходів;

б) $W_1^o, W_2^o \ldots W_{10}^o$ – запаси вологи у грунті (мм) по десятисантиметрових шарах до метра;

4 *група*:

а) T^j – середня за добу температура повітря, ^{0}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 1997 р. Розрахунки проводяться щодекадно. Початок розрахунків - 3 травня - дата появи сходів; φ =51,3; t_o = 43; ω_o =0; ω_R = 527; ω_B=468.

Значення грунтових констант у *табл.8.25.*

Таблиця 8.25 – **Значення грунтових констант (мм). АМС Єршов, 1997 р.**

Пока-зник	Шар грунту, 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
$W_i^{ВЗ}$	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

Початкові значення сухої біомаси листя та коріння визначаються на підставі даних про густоту посіву = 370 росл/м^2

$$m_l^o = 0{,}0371 \cdot 2{,}96 \text{ мг/см}^2 = 0{,}11 \text{ мг/см}^2;$$

$$m_r^0 = 0{,}0371 \cdot 3{,}23 \text{ мг/см}^2 = 0{,}12 \text{ мг/см}^2$$

Обсяг даних, необхідних для розрахунків, досить великий. Для прикладу виконуються розрахунки за одну з декад червня (близько дати колосіння - 12 червня) (*табл.8.26*).

Таблиця 8.26 – **Вихідна метеорологічна інформація для оцінки умов формування врожаю ярої пшениці (Єршов, 1 декада червня)**

Дата	Фактичні дані				Середні багаторічні дані			
	T,^{0}C	d,мб	S,г	R,мм	T,^{0}C	d,мб	S,г	R,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	-

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:	Сходи	10 травня	20 травня	31 травня	10 червня
Врожай, ц/га:	13,5	13,5	10,7	10,5	5,8

Маючи розрахований врожай, обраховують кількісні оцінки агрометеорологічних умов окремих декад або міжфазних періодів. Так, оцінка другої декади травня = 10,7/13,5·100 = 79%; третьої - 98%; першої червня - 55%.

Крім кінцевої величини врожаю, модель «погода-врожай» дозволяє розраховувати інші показники, необхідні для всебічної оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю: запаси продуктивної вологи, сумарне випарування, транспірацію, динаміку фітомаси листя, стебел, коріння, колосся та ін.

8.5 Оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю сільськогосподарських культур за допомогою математичної моделі

Задача агрометеорологічної діагностики зводиться до визначення міри відхилення ходу показників фотосинтетичної діяльності посівів під впливом агрометеорологічних умов періоду від їх середньобагаторічного ходу, що обумовлюється агрометеорологічним режимом , на фоні якого формується тенденція врожайності.

Зміна кількості врожаю відносно середніх багаторічних значень (відхилення від тенденції) при визначених агрометеорологічних умовах впродовж часового інтервалу, який оцінюється, визначається зміною усіх найважливіших показників фотосинтетичної діяльності , викликаною впливом цих агрометеорологічних умов.

В основу кількісної оцінки агрометеорологічних умов вирощування сільськогосподарських культур, яка при оцінці тривалого періоду вегетації є і оцінкою можливого відхилення врожайності від її тенденції, покладено вираз:

$$C = \frac{\hat{m}_p}{\overline{m}_p}, \qquad (8.60)$$

де C – оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю впродовж розглядуваного періоду вегетації;

$\hat{m}_p$ – врожай, розрахований за даними що характеризують умови цього ж таки періоду;

$\overline{m}_p$ – врожай, розрахований за середніми багаторічними даними.

Зміна показників фотосинтетичної діяльності посівів під впливом агрометеорологічних умов періоду, який оцінюється, ставиться у взаємно однозначну відповідність із зміною врожайності.

Кількісна оцінка агрометеорологічних умов зводиться до розрахунку врожаю з врахуванням показників, які характеризують агрометеорологічні умови періоду, що оцінюється, та врожаю, розрахованого на фоні кліматичних умов. Ця оцінка характеризує відхилення врожайності під впливом погодних умов конкретного року від її тенденції, що формується під впливом кліматичних умов.

Необхідно зазначити, що оскільки параметри моделі визначені для будь-якого конкретного середнього рівня агротехніки, то при переході до розрахунків параметрів рослинного покриву в умовах більш високого або

більш низького рівня агротехніки не можна чекати збігу абсолютних значень врожаїв.

Більш важливим є те, наскільки синхронні від одного року до іншого коливання фактичного врожаю, які обумовлені впливом погодних умов конкретних років та розрахованого врожаю. Слід також підкреслити, що при оцінці агрометеорологічних умов за допомогою моделі використовуються не абсолютні значення розрахованого врожаю, а відносні – відношення врожаю, який розраховано за даними про агрометеорологічні умови розглядуваного періоду до врожаю, розрахованого за середніми багаторічними агрометеорологічними умовами.

Оцінка середніх по області умов вирощування сільськогосподарських культур здійснюється двічі: озимих культур – 26 травня - 2 червня та 23 - 30 червня, ранніх ярих культур – 23 - 30 червня та 24 - 31 липня.

Для оцінки міри впливу агрометеорологічних умов вегетаційного періоду на формування врожаю сільськогосподарських культур необхідно:

– провести розрахунок динаміки формування середнього по області врожаю сухої біомаси сільськогосподарських культур при середніх багаторічних агрометеорологічних умовах згідно з моделлю;
– провести розрахунок динаміки формування середнього по області врожаю сухої біомаси сільськогосподарської культури у поточному році від відновлення вегетації (сходів) до терміну проведення розрахунків (відповідно до вказаного вище терміну). При цьому використовуються фактичні дані, а за останню частину вегетаційного періоду (до воскової стиглості) використовуються середні багаторічні значення, або дані синоптичного прогнозу погоди;
– порівняти врожай, розрахований з урахуванням фактичних даних, з врожаєм, розрахованим за середніми багаторічними значеннями.

Для оцінки агрометеорологічних умов формування врожаю використовується формула *8.60*.

Для виконання оцінки за моделлю необхідні такі середні по області дані:

1. Географічна широта центру області, в градусах з десятими.
2. Середня багаторічна дата відновлення вегетації (сходів) сільськогосподарської культури, відносно якої встановлюється кількість днів у першій декаді розрахунку та кількість днів від 20 березня до дня відновлення вегетації (появи сходів).
3. Середня багаторічна дата воскової стиглості культури, для якої встановлюється кількість днів у останній декаді розрахунку вегетаційного періоду.
4. Інформація за встановлений середній багаторічний вегетаційний період по розрахункових декадах:

– кількість днів в декаді,
– середня температура повітря за декаду,
– максимальна температура повітря за декаду,
– середня кількість годин сонячного сяйва за декаду,
– середні багаторічні запаси продуктивної вологи у півметровому шарі грунту за декаду.

5. Гущина рослин на квадратний метр, яка необхідна для визначення початкових біомас окремих органів рослин та площі листя на декаду відновлення вегетації (сходів).
6. Інформація поточного року, така ж як і середня багаторічна, пунктів 1,2,3,4. Інформація поточного року використовується відповідно до термінів оцінки: для озимих культур – від відновлення вегетації до 26 травня та 2 червня, для ранніх ярих – від сходів до 23 - 30 червня та 24 - 31 липня.

Середня по області оцінка агрометеорологічних умов вирощування культури та відповідне прогнозування середньої по області врожайності здійснюється за умови, що інформація усіх станцій, які ведуть спостереження за вологістю грунту, охоплює не менш ніж 70% загальної посівної площі. Майже завжди обмежений обсяг саме цієї інформації ускладнює прогнозування врожаїв сільськогосподарських культур на великих площах (область, край, республіка тощо).

Середні по області вологозапаси розраховуються як середньозважене з врахуванням відсотка площі P_i , яка зайнята культурою у кожному сільськогосподарському мікрорайоні області (по відношенню до загальної посівної площі культури в області).

Для одержання середньозважених по області вологозапасів ($\overline{W}$) необхідно:

– для кожного сільськогосподарського мікрорайону підрахувати середні вологозапаси шляхом звичайного осереднення даних усіх агрометеорологічних та гідрометеорологічних станцій $\overline{W}_i$, $i = 1,2,\ldots n$;
– середні вологозапаси по кожному мікрорайону помножити на відсоток площі P_i , яка зайнята культурою в цьому мікрорайоні.

Тоді середньозважені вологозапаси по області можна одержати як результат поділу суми отриманих перемножень на суму відсотків площі, яка зайнята культурою:

$$\overline{W} = \frac{\overline{W}_i P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \qquad (8.61)$$

Приклад. В області 5 мікрорайонів. Площі посіву по районах : 1-6 га, 2-22 га, 3-9 га, 4-44,5 га, 5-8,5 га. Для першого мікрорайону середні вологозапаси визначались за даними спостережень 2 станцій. Для другого мікрорайону – за даними 4 станцій. Для 3, 4 та 5 районів – по одній станції. У такому випадку середньозважені по області вологозапаси визначаються як:

$$\overline{\overline{W}} = 6{,}0 \cdot \overline{W}_1 + 22{,}0 \cdot \overline{W}_2 + 9{,}0 \cdot \overline{W}_3 + 44{,}5 \cdot \overline{W}_4 + 18{,}5 \cdot \overline{W}_5 =$$

$$= 6{,}0 + 22{,}0 + 9{,}0 + 44{,}5 + 18{,}5$$

У цьому прикладі є інформація про зволоження грунту на 85% посівної площі.

Розрахунок середніх по області значень дат настання фаз розвитку, гущини рослин, середньої за добу та максимальної за декаду температури повітря, кількості годин сонячного сяйва виконується шляхом простого осереднення даних спостережень усіх агро- та гідрометеорологічних станцій.

8.5.1 Методика складання середнього по області врожаю сільськогосподарських культур

Середній по області врожай визначається за формулою:

$$y_n = 0{,}01 y_{t+1} \cdot C_{обл} \ , \qquad (8.62)$$

де y_{t+1} – тенденція середнього по області врожаю на прогнозований рік, ц/га;

$C_{обл}$ – середня по області оцінка умов формування врожаю культури у прогнозованому році, %.

Тенденція середнього по області врожаю визначається за допомогою методу гармонічних зважувань (розділ *8.1*) та динамічної моделі формування врожаю.

8.5.2 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур

Процес формування врожаю представляє складну сукупність багатьох фізіологічних процесів, інтенсивність яких визначається біологічними особливостями рослин, факторами навколишнього середовища, взаємозв’язком між самими процесами.

Прикладні динамічні моделі продуктивності сільськогосподарських культур описують процеси фотосинтезу, дихання, росту і вміщують три біологічні блоки: фотосинтез, дихання, ріст, а також блок перетворення початкової агрометеорологічної інформації - агрометеорологічний.

Принципова схема прикладної динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур представлена на *рис8.5.*

Блок фотосинтезу. Фотосинтез представляється формулою:

$$\Phi_o^j = \frac{k \cdot b \cdot I^j}{k + b \cdot I^j}, \qquad (8.63)$$

де ϕ_o^j – інтенсивність фотосинтезу за оптимальних умов теплоти вологозабезпеченості в реальних умовах освітлення, мгCO_2/(дм^2·г);

k – інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні та нормальній концентрації CO_2, мгCO_2/(дм^2·г);

b – початковий нахил світлової кривої фотосинтезу, мгCO_2/(дм^2·г);

I – інтенсивність фотосинтетично активної радіації (ФАР) всередині посіву, кал/(см^2·хв);

j – номер кроку розрахункового періоду.

Для розрахунку фотосинтезу в онтогенезі в реальних умовах середовища, які відрізняються від біологічно оптимальних, використовується вираз:

$$\Phi_\tau^j = \Phi_o^j \cdot \alpha_\phi^j \cdot \psi_\phi^j \cdot \gamma_\phi^j, \qquad (8.64)$$

де Φ_τ^j – інтенсивність фотосинтезу в реальних умовах середовища, мгCO_2/(дм^2·г);

α_ϕ^j – онтогенетична крива фотосинтезу;

ψ_ϕ^j, γ_ϕ^j – функції впливу факторів зовнішнього середовища, які представляють собою одновершинні криві.

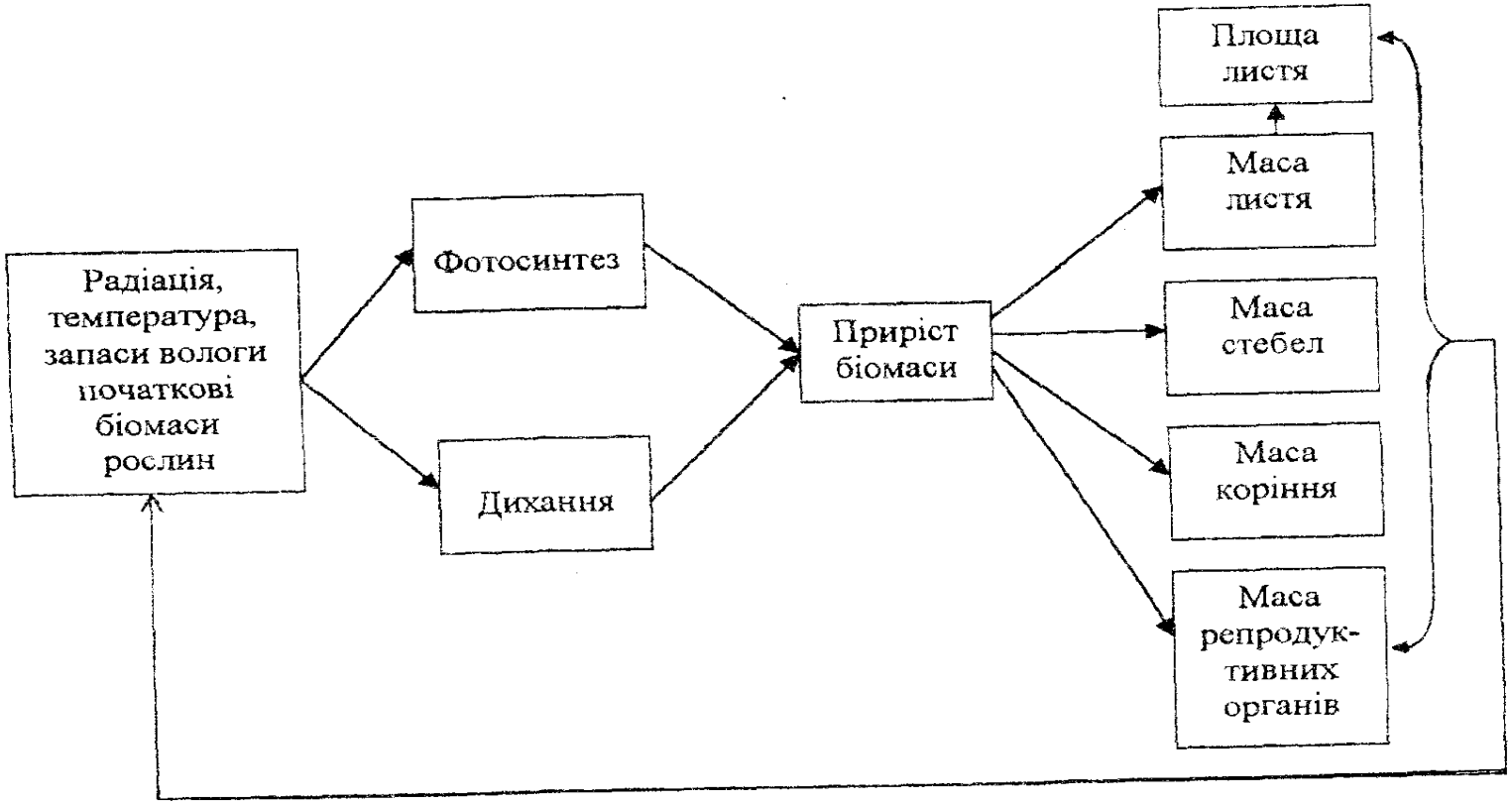


Рис.8.5 – **Блок-схема прикладної динамічної моделі формування врожаю сільськогосподарських культур.**

Функції α_{ϕ}^{j}, ψ_{ϕ}^{j}, γ_{ϕ}^{j} – нормовані та змінюються від О до 1.

Сумарний фотосинтез посіву за світлу пору доби розраховується за формулою:

$$\Phi^{j} = \varepsilon \Phi_{\tau}^{j} L^{j} \tau_{g}^{j}, \qquad (8.65)$$

де Φ – денний фотосинтез посіву на одиницю площі, г/(м^2·день);
ε =0,68 – коефіцієнт ефективності фотосинтезу;
L – площа листя м^2/м^2;
τ – тривалість дня, год.

Блок дихання. На відміну від процесу фотосинтезу здатність до дихального газообміну мають всі органи рослини. Витрати на дихання, пов'язане з підтримкою структурної організації тканин, і на дихання, пов'язане з переміщенням речовин, фотосинтезом та створенням нових структурних одиниць, визначаються з рівняння:

$$R^{j} = \alpha_{R}^{j}(c_1 M^{j} + c_2 \Phi^{j}), \qquad (8.66)$$

де R – витрати на дихання, г/м^2 ;
α_R – онтогенетична крива дихання;
c_1 – коефіцієнт, який характеризує витрати на підтримку структури;
M – суха біомаса посіву, г/м^2;
c_2 – коефіцієнт, який характеризує витрати, пов'язані з переміщенням речовин, фотосинтезом і створенням нових структурних одиниць;
j – порядковий номер декади розрахунку.

Блок росту. Приріст біомаси посіву визначається залишком між сумарним фотосинтезом посіву та витратами на дихання:

$$\Delta M^{j} = \Phi^{j} - R^{j} \qquad (8.67)$$

Для опису росту окремих органів рослин використовуються ростові рівняння у модифікованому вигляді, запропоновані Ю.К. Росом.

$$m_i^{j+1} = m_i^{j} + (\beta_i^{j} \Delta M^{j} - v_i^{j} m_i^{j}),$$

$$m_p^{j+1} = m_p^j + (\beta_p^j \Delta M^j + \sum_i^{l,s,r} v_i^j m_i^j), \qquad (8.68)$$

де m_i – загальна суха біомаса окремих органів $i \in l,s,r,p$ (l – листя, s – стебла, r – коріння, p – репродуктивні органи), г/м^2;

β_i – функція перерозподілу свіжих "асимілятів";

v_i – функція перерозподілу "старих" асимілятів.

Зростання площі листя посіву визначається при позитивному прирості біомаси листя з формули:

$$L^{j+1} = L^j + \Delta m_l \frac{1}{z}, \qquad (8.69)$$

де z – питома поверхнева площа листя, г/м^2.

При від'ємному прирості біомаси листя для опису росту асимілюючої поверхні вживається співвідношення :

$$L^{j+1} = L^j - \Delta m_i \frac{1}{z} \cdot \frac{1}{k_c}, \qquad (8.70)$$

де k_c=0,3 – параметр, який характеризує критичну величину зменшення живої біомаси листя, при якій починається відмирання її.

Агрометеорологічний блок. Поглинена посівом ФАР обчислюється за формулою:

$$I^j = \frac{I_o^j}{1 + CL}, \qquad (8.71)$$

де I_o^j – поглинена сонячна радіація, кал/(см^2/хв);

C = 0,5 – емпірична стала величина;

L – площа листя, м^2/м^2.

Потік ФАР на верхню межу посіву визначається з формули:

$$I_o^j = \frac{0{,}5Q^j}{60\tau_g}, \qquad (8.72)$$

де Q – сумарна сонячна радіація, кал/ (см^2/доб).

Сумарна сонячна радіація розраховується з формули С.І.Сівкова:

$$Q^{j} = 12{,}66(S^{j})^{1{,}31} + 315(\sin h_{o}^{j})^{2{,}1}, \qquad (8.73)$$

де S – тривалість сонячного сяйва, год;

h_o - полуденна висота Сонця.

Середня за світлу пору доби температура повітря розраховується з формули:

$$T_g = a_1 T_{\max} + a_o, \qquad (8.74)$$

де T_g , $T_{\max}$ – відповідно середня за день та максимальна температура повітря;

a_o, a_1 – емпіричні коефіцієнти.

8.5.3 Методи визначення параметрів моделей сільськогосподарських культур стосовно конкретних грунтовокліматичних зон

У відповідності з описаною структурою моделі її параметри поділені на *чотири групи*:

1. Параметри для розрахунку інтенсивності фотосинтезу;
2. Параметри для розрахунку інтенсивності дихання;
3. Параметри для розрахунку динаміки біомаси окремих органів і всієї рослини, площі асимілюючої поверхні;
4. Параметри агрометеорологічного блоку, до якого входять значення коефіцієнтів рівнянь регресії для розрахунку середньої за світлу пору доби температури повітря.

Параметри блоку фотосинтезу. До групи параметрів блоку фотосинтезу входять параметри, які характеризують інтенсивність протікання процесу фотосинтезу під впливом факторів, що безпосередньо беруть участь у самому процесі, а також ті, що відображають умови здійснення процесу. Останні є функціями впливу факторів середовища на інтенсивність процесу фотосинтезу.

Цю групу складають параметри світлової кривої фотосинтезу k, b та $\psi_ф$, $\gamma_ф$ –функції впливу температури повітря і вологості грунту на інтенсивність фотосинтезу.

Загальний вигляд світлової кривої фотосинтезу представлено на *рис.8.6.*

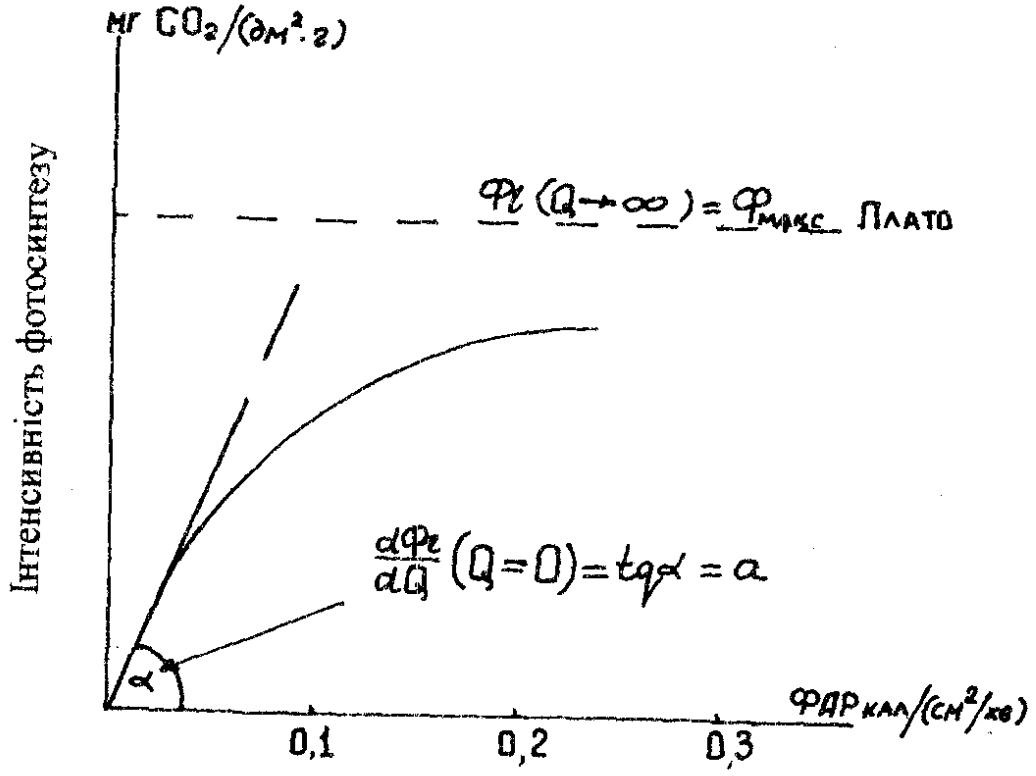


Рис.8.6 – **Параметри світової кривої фотосинтезу (за Х.Г.Тоомінгом).**

Параметр k характеризує плато світлової кривої, а параметр b – нахил світлової кривої фотосинтезу при малих інтенсивностях ФАР і знаходиться як тангенс кута нахилу світлової кривої.

Для озимого жита k = 15 мгCO_2/(дм^2/г); b=555,6 мгCO_2/(дм$^{-2}$·г$^{-1}$ х кал.см$^{-2}$·хв$^{-1}$). Для озимої пшениці, ярого ячменю та вівса k=25мгCO_2/ (дм^2/г); b =581,4 мгCO_2 / (дм$^{-2}$·г$^{-1}$·кал·см$^{-2}$·хв$^{-1}$).

Врахування впливу температури повітря на інтенсивність фотосинтезу проводиться через температурну криву фотосинтезу $\psi_{ф}$, яка будувалась по відношенню температури поточної доби до температури світлої пори доби, коли здійснюється фотосинтез.

Крайні та оптимальні середньодобові температури повітря для фотосинтезу отримані для різних культур: озимого жита – 20^{0}С, озимої пшениці , ярого ячменю та вівса – 22^0 С.

Функції впливу вологості грунту на інтенсивність фотосинтезу $\gamma_{ф}$ визначені окремо для супіщаних та суглинистих грунтів (*рис.8.7*).

Крім того, для розрахунку фотосинтезу використовується також параметр, який характеризує вплив зміни фізіологічного віку листя на інтенсивність фотосинтезу, – онтогенетична крива фотосинтезу $\alpha_{ф}$, положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

Онтогенетична крива фотосинтезу – це одновершинна крива (*рис.8.8*), яка описується виразом:

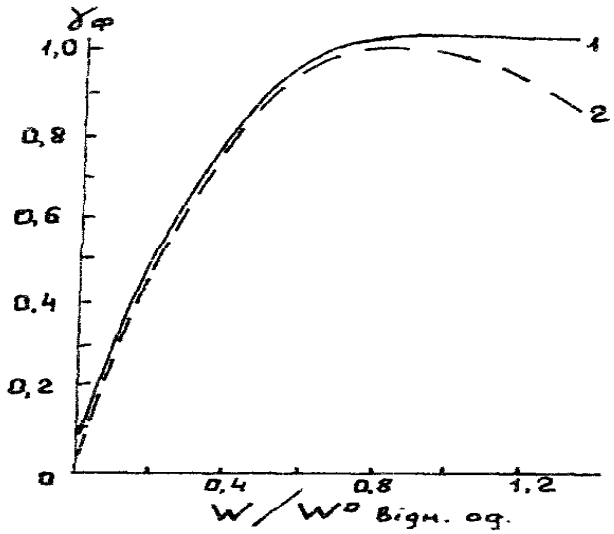
$$\alpha_{ф}^{j} = l^{-a\left(\frac{TS_2 - \sum t_l^1}{10}\right)^2}, \qquad (8.75)$$

де параметр a знаходиться за допомогою формули:

$$a = \frac{-100 l_n \cdot \alpha_{ф}^{j}}{\sum t_l^1}, \qquad (8.76)$$

де TS_2 – сума ефективних температур наростаючим підсумком;

$\sum t_l^1$ – сума ефективних температур, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу листя;



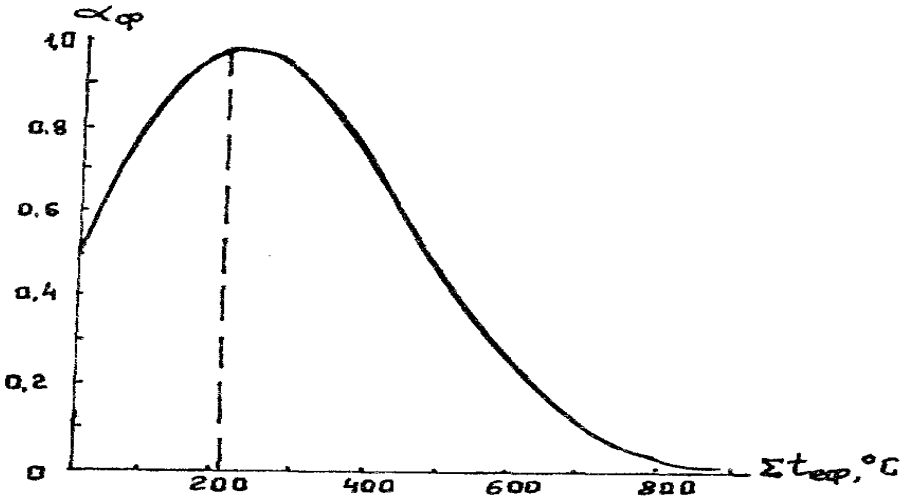


Рис.8.8 – **Онтогенетична крива фотосинтезу**

Рис.8.7 – **Функція впливу вологості грунту на фотосинтез: 1 – супіщані грунти; 2 – суглинкові грунти; *W* – запаси продуктивної вологи у шарі 0-50см; W^0 – найбільші запаси вологи у шарі 0-50см впродовж 3 декад від початку вегетації.**

α_{ϕ}^{j}=0,5 – початкова інтенсивність фотосинтезу по відношенню до максимально можливої на початок вегетації при TS_2 = 0.

Для визначення положення максимуму онтогенетичної кривої фотосинтезу будь-якої культури для конкретної території, тобто суми температур, що визначає це положення, необхідно за даними агрокліматичного довідника розрахувати середні по області багаторічні дати відновлення вегетації (сходів) та воскової стиглості і визначити середню багаторічну суму ефективних температур вище 5^0С за цей період ($\sum t_4$). Четверта частина цієї суми буде значенням $\sum t_l^1$.

Параметри блоку дихання. До цієї групи параметрів відноситься коефіцієнт витрат на підтримку структур C_1 =0,015 та коефіцієнт витрат на конструктивне дихання C_2 = 0,28. Сюди також входить параметр, що характеризує вплив зміни віку органів на інтенсивність процесу дихання – *онтогенетична крива дихання* α_R, положення максимуму якої визначається темпами розвитку рослин на конкретній території.

Для визначення положення максимуму онтогенетичної кривої дихання, тобто суми температур, яка визначає це положення ($\sum t_l^3$), необхідно скористуватись сумою ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до воскової стиглості. Четверта частка цієї суми буде складати $\sum t_l^3$. Сума $\sum t_l^3$ дорівнює $\sum t_l^1$.

Параметри блоку росту. Головним блоком прикладних динамічних моделей формування врожаю є блок росту. Параметри цього блоку визначаються по кожній культурі для конкретної території. Ця група параметрів об'єднує функції періоду вегетативного росту β_i та функції періоду репродуктивного росту v_i. У відповідності з роботами Х.Г. Тоомінга функції періоду вегетативного росту визначаються як

$$\beta_i = \frac{\Delta m_i}{\sum\limits_{i}^{l,s,r,p} \Delta M_i}, \; i \in l,s,r,p \qquad (8.77)$$

та показують частку сумарного приросту всієї рослини, який приходиться на і - й орган; інші – функції періоду репродуктивного росту

$$v_i = \frac{\Delta m_i}{m_i},\ i \in l, s, r \qquad (8.78)$$

показують відтік (перерозподіл) асимілятів із кожного вегетативного органу після закінчення його росту в репродуктивні органи.

Розрахунок функцій вегетативного і репродуктивного періодів у прикладних моделях формування врожаїв полягає в тому, що динаміка біомаси із кожного органу у відносних одиницях представляється у вигляді сім′ї кривих (*рис.8.9*), точки перегину яких $\sum t_i^2$, $i \in l, s, r, p$ збігаються з сумами температур, які дорівнюють половині всієї суми, необхідної для завершення росту кожного органу. Наведена на осі абсцис *рис.8.9* сума представляє собою суму температур, з якої починається ріст репродуктивних органів.

Якщо описати кожну криву рівнянням логістичної кривої, продиференціювати ці рівняння та помножити на коефіцієнт c_i, який характеризує частку органу в загальній біомасі під час дозрівання, то дістанемо такий вираз для визначення функцій періоду вегетативного росту:

$$\beta = \frac{\Delta\theta_i}{\sum\limits_{i}^{l,s,r,p} \Delta\theta_i},$$

в якому

$$\Delta\theta_i = \frac{4{,}6052 \cdot 10^{\frac{2(\sum t_i^2 - TS_2^i)}{\sum t_i^2}}}{\sum t_i^2 \left(1 + 10^{\frac{2(\sum t_i^2 - TS_2^i)^2}{\sum t_i^2}} \right)}, \qquad (8.79)$$

$$i \in l, s, r, p$$

де $\sum t_i^2$ – сума ефективних температур, яка дорівнює половині суми температур, необхідної для закінчення росту кожного органу;

c_i – коефіцієнт співвідношення різних органів в рослині на час дозрівання.

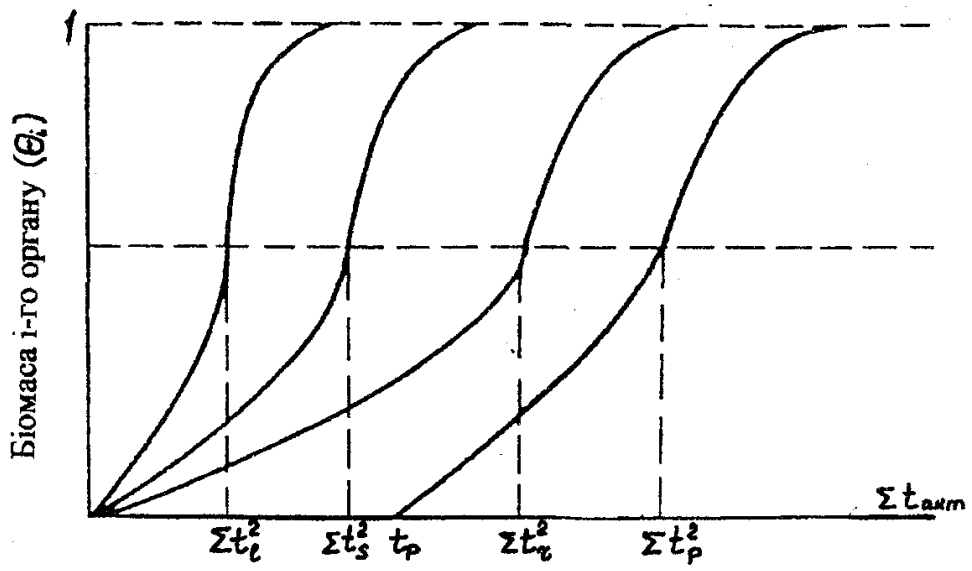


Рис.8.9 – **Динаміка накопичення окремих органів рослин**

(Σt_l, Σt_s, Σt_r, Σt_p – суми температур, що становлять ½ суми необхідної для закінчення росту органів: *l* - листя, *s* - стебел, *r* - коріння, *p* – колосу; Σt_p – сума температур початку росту колосу).

Перерозподіл "старих" асимілятів із листя, стебел та коріння у репродуктивні органи починається з моменту закінчення росту кожного з цих органів. Ростові функції періоду репродуктивного росту v_i для кожного вегетативного органу знаходяться за виразом:

$$v_i^j = \frac{0{,}3TS_1^j}{(2\sum t_p^2 - \sum t_p) - 2\sum t_i^2}, \qquad (8.80)$$

$$i \in l, s, r, p$$

де TS_1 – сума ефективних температур за будь-який інтервал часу (найчастіше за декаду).

Положення функцій періодів вегетативного та репродуктивного росту, що описують перерозподіл між органами рослин, визначається сумами температур, які необхідні для закінчення росту листя, стебел, коріння, початку росту колосу, настання воскової стиглості. Для визначення цих сум необхідно розрахувати середні по області багаторічні дати настання фази виходу у трубку, появи нижнього вузла соломини, колосіння, цвітіння та підрахувати середні багаторічні суми ефективних температур вище 5^0С за періоди: відновлення вегетації (сходи) - вихід у трубку $\sum t_1$; відновлення вегетації (сходи) - колосіння $\sum t_2$; відновлення вегетації (сходи) - цвітіння $\sum t_3$. Тоді сума температур, яка визначає положення ростової функції будь-якого органу, тобто сума $\sum t_i^2$, буде становити для листя $(\sum t_l^2) - 1/2$ суми ефективних температур за період від відновлення вегетації до колосіння; стебел – $(\sum t_s^2) - 1/2$ суми ефективних температур за період від відновлення вегетації до цвітіння; коріння – $(\sum t_r^2)$ – подібно до стебел. Сума $\sum t_r^2$ дорівнює $\sum t_s^2$.

Необхідно визначити суму температур $\sum t_p$, з якої починається ріст репродуктивного органу – колосу. Ця сума визначається як середня з двох сум: суми температур за період від відновлення вегетації (сходів) до виходу у трубку та суми температур за період від відновлення вегетації до колосіння:

$$\sum t_p = \frac{\sum t_1 + \sum t_2}{2} \qquad (8.81)$$

Положення ростової функції колосу визначається сумою температур $\sum t_p^2$, яка находиться з виразу

$$\sum t_p^2 = \frac{\sum t_4 - \sum t_p}{2} + \sum t_p \qquad (8.82)$$

Чисельні значення коефіцієнта c_i для різних культур наводяться нижче:

Культура	c_l	c_s	c_r	c_p
Озиме жито	0,22	0,42	0,13	0,23
Озима пшениця	0,25	0,36	0,11	0,28
Ярий ячмінь	0,23	0,33	0,11	0,33
Овес	0,23	0,33	0,15	0,29

Параметри агрометеорологічного блоку. Для здійснення розрахунків за моделлю необхідно розрахувати середню за декаду температуру повітря за світлу пору доби, яка визначається по середній максимальній за декаду температурі повітря за формулою:

$$T_g = a_1 T_{\max} + a_o \qquad (8.83)$$

Параметри цього виразу (a_o, a_1) окремо для кожного місяця вегетації визначені стосовно умов нечорноземної зони і наводяться нижче:

Параметр	*Місяці вегетації*					
	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень
a_o	-3,0	-1,365	-1,008	-1,081	0,559	-0,686
a_1	1,0	0,835	0,856	0,891	0,823	0,873

Різниця у добовому ході температури повітря не дозволяє без уточнення використовувати значення цих параметрів при розрахунках в інших грунтово-кліматичних умовах.

Для кожної кліматичної зони слід вибирати дві-три станції, дані спостережень яких надруковані у Метеорологічному щомісячнику. Для одержання стійких значень параметрів кожного місяця необхідно вибирати

3 - 4 роки з різними умовами термічного режиму (теплий, холодний та близький до норми).

Час сходу та заходу сонця визначається за даними Довідника по клімату. За годинними спостереженнями розраховується середня за світлу пору доби температура повітря та виписується максимальна температура за день. Після цього визначається залежність середньої за день температури повітря від максимальної. Параметри a_o і a_1 можуть бути визначені або з використанням методу найменших квадратів, або графічно після побудови графіка зв'язку T_g з $T_{\max}$. a_o – як відрізок, що відсікається на осі ординат T_g, a_1 - як тангенс кута нахилу прямої зв'язку T_g з T_{max}. Приклад на *рис.8.10*.

Приклад розробки динаміко-статистичного методу прогнозу середнього по області врожаю.

Розглянемо приклад розробки динаміко-статистичного методу прогнозу середнього по області врожаю ярих зернових культур. У відповідності з описаним вище параметри моделі для конкретної території визначаються на основі стандартної агрометеорологічної інформації так:

1. За даними довідника «Агрокліматичні ресурси області» визначаються середні багаторічні дати настання основних фаз розвитку ярого ячменю та вівса – сходи, вихід у трубку, колосіння, цвітіння, воскова стиглість. Ці дані заносяться у робочі таблиці (*табл.8.27*).
2. За даними цього ж таки Довідника розраховуються середні обласні значення середньої декадної температури повітря (*табл.8.27*).
3. За даними *табл.8.27* та *8.28* визначаються суми ефективних температур вище 5^0С по міжфазних періодах: сходи-вихід у трубку; сходи - колосіння; сходи - цвітіння; сходи - воскова стиглість. При підрахунку сум температур за період сходи - цвітіння бувають випадки, коли в Довідниках не зазначена дата цвітіння. У таких випадках за період колосіння - цвітіння використовують суму температур для озимого жита - 15^0С, для озимої пшениці -50^0С, ярого ячменю - 100^0С, для вівса - 100^0С. Ці суми також заносяться у *табл.8.27*.
4. За даними *табл.8.28* розраховуються суми температур, які становлять параметри моделі. Розрахунки проводяться в *табл.8.29*.
   На цьому визначення параметрів моделі закінчено.

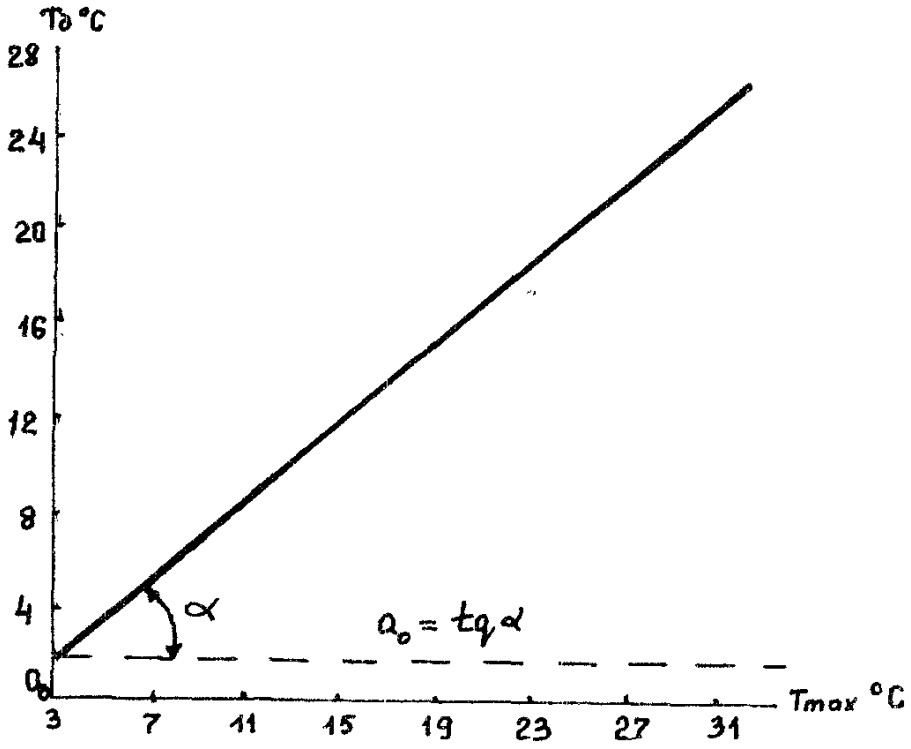


Рис.8.10 – **Зв′язок середньої за день температури повітря з середньою температурою повітря.**

Таблиця 8.27 – **Дата настання фаз розвитку та суми ефективних температур вище 5^{0}С за міжфазні періоди основних сільськогосподарських культур**

Культура	Дата настання фаз розвитку					$\sum t_1$	$\sum t_2$	$\sum t_3$	$\sum t_4$
	відновлення вегетації (сходи)	вихід в трубку	цвітіння	колосіння	воскова стиглість				
Озиме жито	6,05	10,06	22,06	-	10,08	70	150	150	640
Ярий ячмінь	3,06	29,06	14,07	-	14,08	180	330	215	640
Овес	4,06	4,07	20,07	27,07	23,08	230	390	505	700

Таблиця 8.28 – **Середня багаторічна температура повітря за декаду**

Травень			Червень			Липень			Серпень		
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
3,1	5,1	7,1	9,5	11,7	13,8	14,9	15,4	15,3	14,5	13,0	11,3

Для виконання розрахунків слід також підготувати середні по області багаторічні дані: середня за декаду максимальна температура повітря, середня кількість годин сонячного сяйва (*табл.8.30*) та запаси продуктивної вологи у шарі грунту 0 - 50 см.

Для виконання розрахунків також необхідні дані *табл.8.31, 8.32.* Підготовлений за усіма даними інформаційний масив, а також інформація про часові ряди врожаїв, вводяться в ПЕОМ, проводяться розрахунки за програмою (*Додаток Г*). Остаточні дані заносяться у *табл.8.33*.

Таким чином прогноз врожаю, виконаний за допомогою моделі на 20 червня становить: ярого ячменю – 16,9 ц/га; вівса – 9,3 ц/га; жита – 8,1 ц/га.

Таблиця 8.29 – **Суми ефективних температур вище 5^0С, параметри моделі**

Суми ефективних температур	Озиме жито	Яровий ячмінь	Овес
$\sum t_l^1 = 1/4 \sum t_4$	160	160	175
$\sum t_l^2 = 1/2 \sum t_2$	75	165	195
$\sum t_s^2 = 1/2 \sum t_3$	150	215	245
$\sum t_r^2 = \sum t_s^2$	150	215	245
$\sum t_p^2 = (\sum t_p^2 - \sum t_p^2)/2 + \sum t_p$	110	255	310
$\sum t_p = (\sum t_1 - \sum t_2)/2$	310	455	505
$\sum t_l^3 = \sum t_l^1$	160	160	175

Таблиця 8.30 – **Початкові дані**

Географічна широта області 64,30^0 с.ш.

Інформація	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес
Дата відновлення вегетації (сходи)	6,05/11,04	3,06/2,06	4,06/13,06
Дата воскової стиглості	10,08/10,08	14,08/14,08	23,08/23,08
Густота стояння рослин на 1м^2	263/263	424/424	448/448
Найбільші за перші три декади вологозапаси	109/97	95/95	95/94

Таблиця 8.31 – **Початкова агрометеорологічна інформація**

Вид інформації	Травень			Червень			Липень			Серпень		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Середня декадна температура повітря, ^{0}C	3,1/- 8,2/-	5,1/ 7,9 10,4/ 13.6	7,1/ 8,2 12,5/ 14,4	9,5/ 9,4 14,6/ 15.4	11,7/ 8,8 16,9/ 16,4	13,8/ 13,8 17,8/ 17,9	14,9/ 14,9 18,9/ 18,9	15,4/ 15,4 20,0/ 20,0	15,3/ 15,3 19,2/ 19,2	14,5/ 14,5 18,2/ 18,2	13,0/ 13,0 17,5/ 17,5	11,3/ 11,3 16,8/ 16,8
Середня за декаду максимальна температура повітря, ^{0}C												
Середнє за декаду число часів сонячного сяйва	7,1/-	7,5/ 14,9	8,1/ 12,0	8,7/ 5,3	9,3/ 6,7	9,4/ 9,4	9,5/ 9,6	9,6/ 9,6	8,9/ 8,9	8,0/ 8,0	7,0/ 7,0	6,3/ 6,3
Кількість днів в розрахункових декадах:												
озиме жито	5/-	10/10	11/11	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	11/11	10/10		
ярий ячмінь				7/9	10/10	10/10	10/10	10/11	11/10	10/4	4/-	
овес				6/-	10/8	10/10	10/10	10/10	11/11	10/10	10/10	3/3
Запаси продуктивної вологи (мм) в шарі грунту 0-50 см:												
озиме жито	109/-	95/95	97/97	86/86	83/83	76/76	75/75	73/73	68/68	72/72		
ярий ячмінь				95/95	94/94	85/85	76/76	65/65	67/67	65/65	73/73	
овес				95/	94/94	85/85	76/76	65/65	67/67	65/65	73/73	75/75

Примітка. Тут і в *табл.8.30* чисельник – середнє багаторічне, знаменник – поточна інформація на 20 червня 1978 р.

Таблиця 8.32 – **Тимчасові ряди врожаїв сільськогосподорських культур**

Рік	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес	Рік	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес	Рік	Озиме жито	Ярий ячмінь	Овес
1947	7,5	8,2	5,9	1957	4,1	8,0	5,1	1967	9,6	10,8	9,6
1948	6,5	9,0	6,3	1958	5,7	7,6	4,3	1968	8,3	9,4	8,1
1949	8,2	7,0	4,6	1956	6,9	8,7	6,3	1969	7,9	11,4	8,3
1950	8,6	8,0	6,6	1960	6,9	7,7	5,3	1970	11,3	12,1	10,0
1951	7,5	7,0	5,8	1961	3,2	6,3	4,5	1971	8,3	13,2	7,8
1952	3,4	5,3	3,9	1962	5,5	6,5	5,4	1972	7,8	7,1	5,8
1953	4,3	6,7	4,0	1963	7,5	8,1	7,0	1973	10,5	10,5	8,5
1954	5,4	5,0	3,9	1964	5,8	7,6	6,1	1974	7,7	19,1	9,4
1955	7,3	6,9	4,4	1965	7,6	9,4	7,3	1975	13,1	15,1	13,4
1956	7,0	5,8	3,5	1966	7,3	7,8	7,1	1976	10,5	13,3	12,3
								1977	12,9	10,0	11,3

Таблиця 8.33 – **Остаточні дані розрахунків**

К у л ь т у р а	Середня багаторічна маса колосу, г/м^2	Маса колосу в 1978р. з урахуванням умов до 20 червня, г/м^2	Оцінка агрометеорологічних умов до 20 червня 1978р., %	Тенденція врожаю на 1978р., ц/га	Прогноз врожаю на 20 червня 1978р., ц/га
Озиме жито	219,3	158,7	72	11,2	8,1
Ярий ячмінь	244,2	272,2	111	15,1	16,9
Овес	234,7	185,9	79	11,7	9,3

9 ПОГОДА І АГРОТЕХНІКА

9.1 Агрометеорологічне обгрунтування термінів сівби сільськогосподарських культур

Розвиток сільськогосподарських культур визначається не тільки комплексом гідрометеорологічних факторів, але й умовами агротехніки: обробки грунтів, термінів сівби, норм і термінів внесення добрив, термінів зрошення і збирання хлібів та інше. Внаслідок їх правильного використання складаються особливі фітокліматичні умови приземного шару повітря, які змінюються в необхідному для сільського господарства напрямку.

Одержання високих врожаїв сільськогосподарських культур значною мірою залежить від початку польових робіт і термінів сівби. З врахуванням термінів сівби сільськогосподарських культур пов'язано вирішення питань правильного планування їх виробництва в окремі роки і в окремих районах країни.

У зв'язку з мінливістю погодних умов найбільш сприятливі терміни сівби із року в рік змінюються. Найсприятливіші терміни визначаються біологічними особливостями рослин, їх сортів і агрометеорологічними умовами. Посів у найсприятливіші строки з термічних умов і умов вологозабезпеченості створює більш сильну кореневу систему і формує максимальну вегетативну масу. Відхилення термінів сівби від найсприятливіших створює такі умови, що хід метеорологічних елементів в період вегетації та критичний період розвитку рослин не відповідає біологічним вимогам культури. У зв'язку з цим терміни сівби повинні встановлюватись вибірково з врахуванням конкретних агрометеорологічних умов, місцеположення і року з метою забезпечення максимальної відповідності умов вирощування і потреб сільськогосподарських культур.

Наближені терміни початку польових робіт і сівби сільськогосподарських культур визначаються з допомогою деяких термічних показників, що характеризують темпи розвитку весняних процесів, таких як інтенсивність сніготанення, звільнення полів від снігу, відновлення вегетації озимих і плодових культур. За такі показники прийнято:

а) дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через певні пороги весною. Фактичні дати переходу через той чи інший поріг порівнюються з середніми багаторічними. За показники термінів сівби ранніх ярових культур приймаються для відпо-

відних районів дати стійкого переходу температури повітря через 3, 5, 7°С, пізніх ярих культур – дати стійкого переходу температури повітря через 10°С, для теплолюбних – перехід температури через 15° С;

б) суми позитивних температур. Для цього будується графік наростання сум позитивних температур у конкретному році, інших років і середніх багаторічних;

в) суми ефективних температур вище 5°С. Також будується відповідний графік. Ці графіки дають уявлення щодо ходу весни у поточному році у будь-який день в порівнянні з іншими веснами і визначають характер весни: рання чи пізня, затяжна і холодна чи тепла, а також про темпи накопичення тепла впродовж всього вегетаційного періоду. Такі визначення мають практичне значення для вибору культур, характеристики теплозабезпечення вегетаційного періоду та визначення термінів сівби;

г) більш надійні пропозиції сільськогосподарському виробництву щодо початку польових робіт і найсприятливіших термінів сівби грунтуються на врахуванні часу настання м'якопластичного стану грунту і його прогріву. При м'якопластичному стані вологість грунту відповідає найменшій вологоємності (НВ) і в цьому випадку створюються сприятливі умови не тільки для проростання насіння, але і для якісної обробки грунту.

9.1.1 Визначення термінів сівби ранніх ярих культур

Для визначення термінів сівби ярих культур необхідно мати такі дати:

- звільнення полів від снігу;
- відтанення грунту;
- просихання грунту до м'якопластичного стану.

Дати настання цих явищ визначаються попередніми та чинними агрометеорологічними умовами, такими як: висота снігу наприкінці зими, глибина промерзання грунту, температура повітря, опади, зволоження грунту та ін.

Звільнення полів від снігу пов'язано з інтенсивністю сніготанення. Інтенсивність сніготанення і схід снігу з поля розраховується за формулою Є.Г. Попова [36, 41]:

$$h = 7{,}1\begin{bmatrix}(1-\alpha)(t_{max} - t_{ср.} - 0{,}2) - \\ - 0{,}2(t_{ср.} - t_{min}) + 0{,}1v(t_{ден.} - 0{,}3\end{bmatrix}, \qquad (9.1)$$

де h – сніготанення за 12 денних годин, мм;

α – альбедо снігу;

t_{max}, $t_{ср.}$, t_{min} – відповідно максимальна, середня і мінімальна температури повітря за добу,°С;

$t_{ден.}$ – середня температура повітря за світлу пору доби (7+13+19)/3, °С ;

v – швидкість вітру вдень, м·сек$^{-1}$.

Інтенсивність сніготанення і дата повного його сходу з полів розраховується за методом, розробленим В.Д.Комаровим і Т.Т.Макаровою [36]. В.Д.Комаровим запропоновані криві розподілу і забезпеченості величин запасів води у снігу, які дозволяють розраховувати площі, вкриті снігом, на різні дати в період його танення (*рис.9.1*). На рис.9.1 на осі ординат – величина відношення запасів води у снігу на полі в якій-небудь точці до середньої величини цих запасів на всій площі поля (*К*), по осі абсцис – розподіл різних запасів води в снігу у відсотках цих запасів на всій площі поля (*Р*). Т.Т.Макаровою прийнято коефіцієнт сніготанення 5 мм на 1°С.

Зміну глибини відтавання грунту після сходу снігу і дату повного відтавання визначають з графіків Л.О.Разумової (*рис.9.2*) в залежності від термічних умов і початкового відтавання грунту.

Період просихання грунту і час настання м'якопластичного стану після сходу снігу і найбільшого зволоження грунту при однаковій температурі повітря визначається з графіка Б.П.Полякова [41] (*рис.9.3*). Час просихання грунту на графіку визначається в залежності від зміни об'ємної вологості грунту.

При різких коливаннях температури повітря від доби до доби час просихання грунту визначається з *табл.9.1*, що складена Г.З.Венцкевичем [67].

Таблиця 9.1 – **Просихання грунту в залежності від температури повітря і насичення грунту вологою (в % зниження об'ємної вологості грунту)**

Температура повітря,^{0}С	Вологість грунту, %									
	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32
20	7	7	6	6	5	5	4	3	3	2
16	6	6	5	5	4	4	3	3	2	1
12	5	5	4	4	3	3	2	2	1	0
8	4	4	3	3	2	2	1	1	0	0
4	3	3	2	2	1	1	0	0	0	0
0	2	2	1	1	0		0	0	0	0

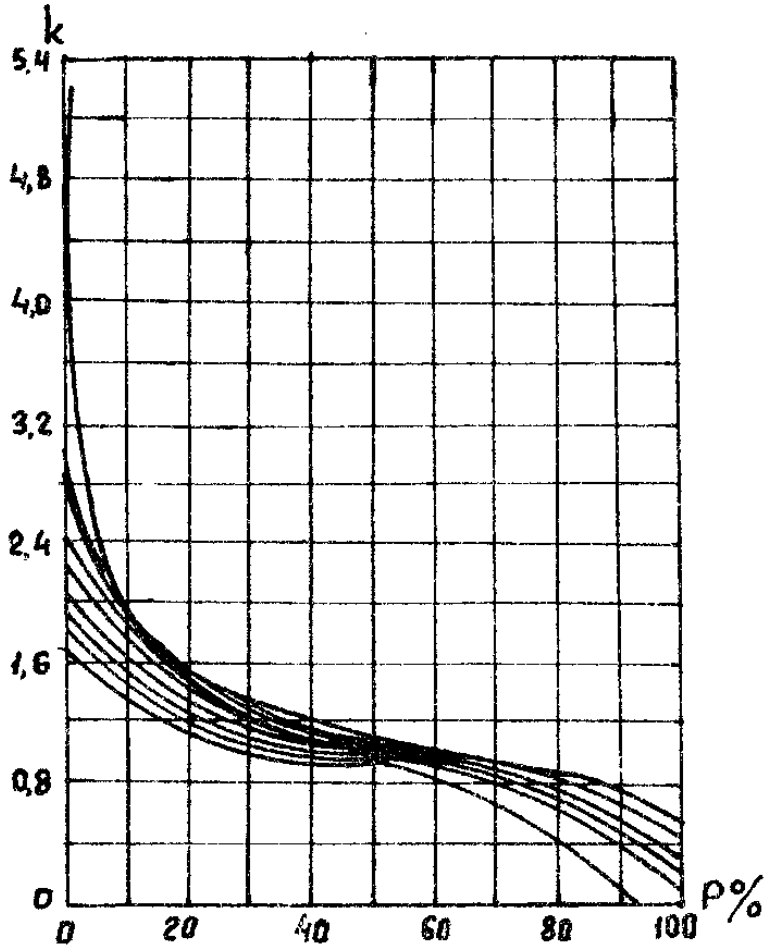


Рис.9.1 – **Криві забезпеченості величин запасів води у снігу на відкритій місцевості у степових та лісостепових районах Європейської частини.**

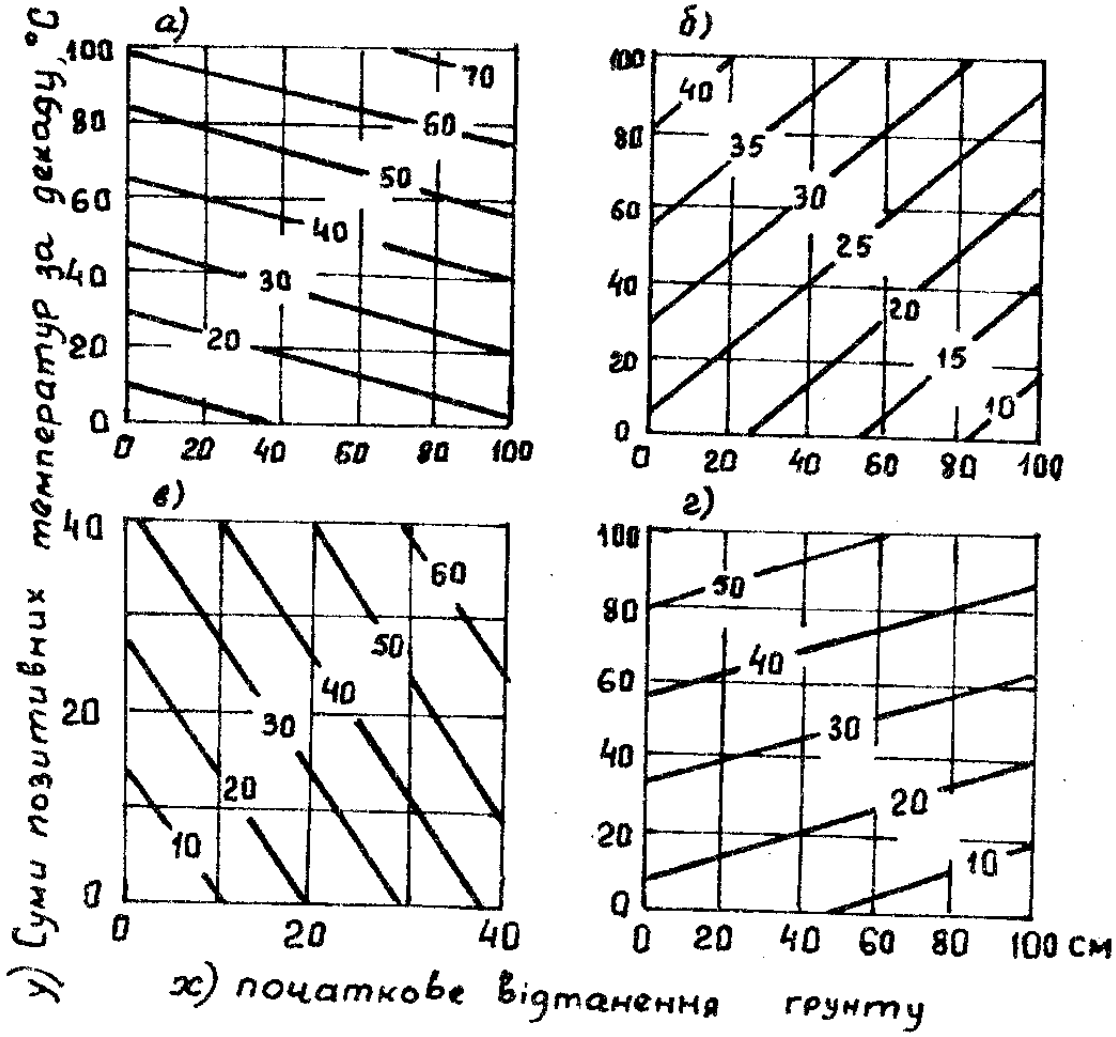


Рис.9.2 – **Зміна глибини відтанення грунту (см) після сходу снігу на Європейській території СНД:** ***а*** **– для північно-західних районів (з глибокими грунтовими водами);** ***б*** **– для південно-східних районів (посушливих);** ***в*** **– для південних районів з нестійкою зимою;** ***г*** **– для усіх інших районів.**

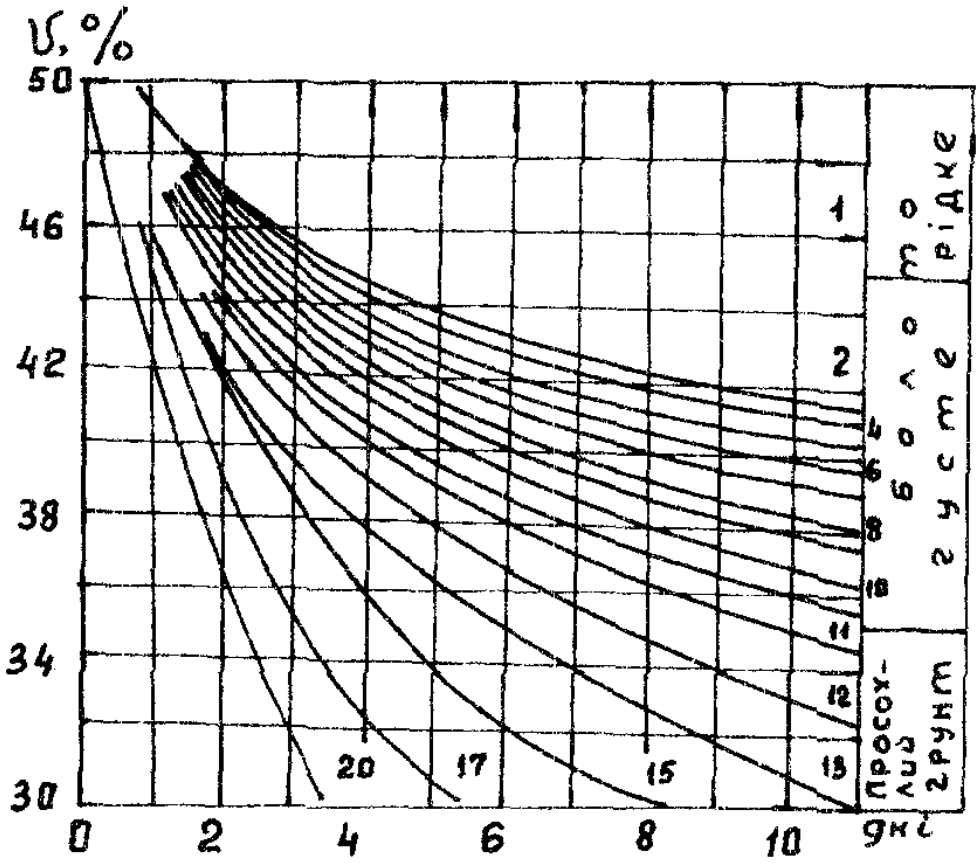


Рис.9.3 – **Тривалість просихання грунтів після максимального зволоження.**

Числа на кінцях кривих означають температуру повітря, ^{0}С.

У нечорноземній зоні дата повного просихання грунту може бути визначена також з формули А.М.Дерев'янко:

$$n = -0{,}67x - 0{,}47y - 0{,}07z + 18{,}6 \ , \qquad (9.2)$$

$$R = 0{,}88 \pm 0{,}33; \ S_n = \pm 8 \text{ днів},$$

де n – тривалість періоду від кінця першого зимового похолодання (період з температурою -10°С і нижче впродовж 10 днів і більше) до дати просихання грунту до м'якопластичного стану;

x – тривалість періоду від стійкого переходу температури повітря через 0° С восени до кінця першого похолодання взимку;

y – дата встановлення стійкого сніжного покриву;

z – глибина промерзання грунту на кінець першого похолодання.

Згідно з дослідженнями Л.К.П'ятовської дату першого просихання мінеральних грунтів до м'якопластичного стану (y) розраховують також за датою відмерзання грунту на глибину 20 см (x) або за середньою за квітень температурою повітря з рівнянь (*9.3-9.6*):

– легкі грунти:

$$y = 24{,}72 + 0{,}89\, x \ , \qquad (9.3)$$

$$y = 137{,}9 + 7{,}18\, t + 0{,}323\, t^2 \qquad (9.4)$$

– важкі грунти:

$$y = 123{,}3 - 1{,}01\, x + 0{,}009x^2 \ , \qquad (9.5)$$

$$y = 133{,}8 + 3{,}07\, t + 0{,}07\, t^2 \qquad (9.6)$$

Але найсприятливіший термін сівби ранніх ярих зернових культур не завжди співпадає з датою настання м'якопластичного стану, оскільки грунт ще не встигає прогрітись до температури 5°С. У зв'язку з цим Л.К.П'ятковська запропонувала визначати дату стиглості верхнього шару (0-10см) грунту для посіву ранніх ярових культур за середньою добовою температурою повітря за квітень (x):

– легкі грунти:

$$y = 136{,}87 - 5{,}16\, x + 0{,}09x^2 \ , \qquad (9.7)$$

– важкі грунти:

$$y = 136{,}10 - 4{,}76\,x + 0{,}12x^2 \qquad (9.8)$$

9.1.2 Визначення термінів сівби пізніх ярих культур

Терміни сівби пізніх ярих теплолюбних культур обумовлюються, головним чином, температурою верхнього шару грунту, з якою пов'язано проростання насіння, а також здатністю рослин протистояти весняним приморозкам. За головний чинник температури грунту приймається температура повітря.

Дружнє проростання насіння пізніх ярих культур спостерігається при температурі грунту до 8-10°С на глибині приблизно 5см. Такий прогрів грунту співпадає з датою стійкого переходу температури повітря через 10°С.

Більш точне визначення прогріву грунту до 8-10°С на глибині загортання насіння запропоновано Н.З.Івановою та Ю.І.Чирковим.

Н.З.Івановою температура грунту (Z) на заглиблені насіння розраховується в залежності від середньої добової температури повітря (x) за поточний день та температури грунту за попередню добу (y) з допомогою формул:

– для чорноземних грунтів:

$$Z = 0{,}35\,x + 0{,}55\,y + 0{,}79, \qquad (9.9)$$

– для підзолистих грунтів:

$$Z = 0{,}58\,x + 0{,}40\,y + 0{,}58 \qquad (9.10)$$

У зв'язку з великим впливом на температуру грунту його механічного складу і зволоження Ю.І.Чирковим [36] були розраховані рівняння регресії окремо для добре зволоженого і слабозволоженого грунту з врахуванням його механічного складу:

– вологі суглинки:

$$y = 0{,}571\,x + 3{,}551, \qquad (9.11)$$

– вологі супіщані грунти:

$$y = 0{,}524\,x + 5{,}09, \qquad (9.12)$$

– суглинки слабозволожені:

$$y = 0{,}96\,x + 1{,}77, \qquad (9.13)$$

– супіщані слабозволожені грунти:

$$y = 0{,}89\,x + 2{,}94, \qquad (9.14)$$

де y – середня за добу температура грунту на глибині 5 см;
x – середня за добу температура повітря.

На торф′яних грунтах сівба теплолюбних рослин проводиться тоді, коли грунт відтане на повну глибину і досягне м’якопластичного стану.

Дати повного відмерзання грунту (y) і терміни сівби визначаються в залежності від повного відмерзання цих грунтів на 10 см (x_1) і 15 см (x_2):

$$y = 38{,}44 + 0{,}37\,x_1 + 0{,}003\,x_1^2 \qquad (9.15)$$

$$y = 12{,}41 + 0{,}98\,x_2 + 0{,}0006\,x_2^2 \qquad (9.16)$$

R = 0,92 і S_y = ± 2-3 дні для обох рівнянь.

Визначені вищевказаними способами дати сівби не будуть абсолютними і повинні корегуватись поправками на умови рельєфу. Ю.І.Чирков запропонував вводити поправки на розраховану температуру грунту на крутизну і орієнтування схилу. При крутизні 5-10° ця поправка для південного схилу складає 1°С, для північного – -1°С.

Крім термінів сівби теплолюбних культур визначається також ймовірність пошкодження сходів приморозками за розрахованими термінами сівби. Найсприятливішим буде той термін, за якого буде найменша імовірність пошкодження сходів весняними приморозками (менше 80%).

І.А.Гольцберг розроблені криві ймовірності припинення приморозків навесні для багатьох пунктів території країн СНД і побудована карта (*рис.9.4*).

Якщо ж ймовірність припинення приморозків не визначена, то вона розраховується з використанням значень середньоквадратичних відхилень (σ) (*рис.9.4*) і середніх багаторічних дат припинення приморозків. Для різних відсотків ймовірності І.А.Гольцберг розраховані коефіцієнти, на які необхідно помножити значення σ даного району, щоб отримати

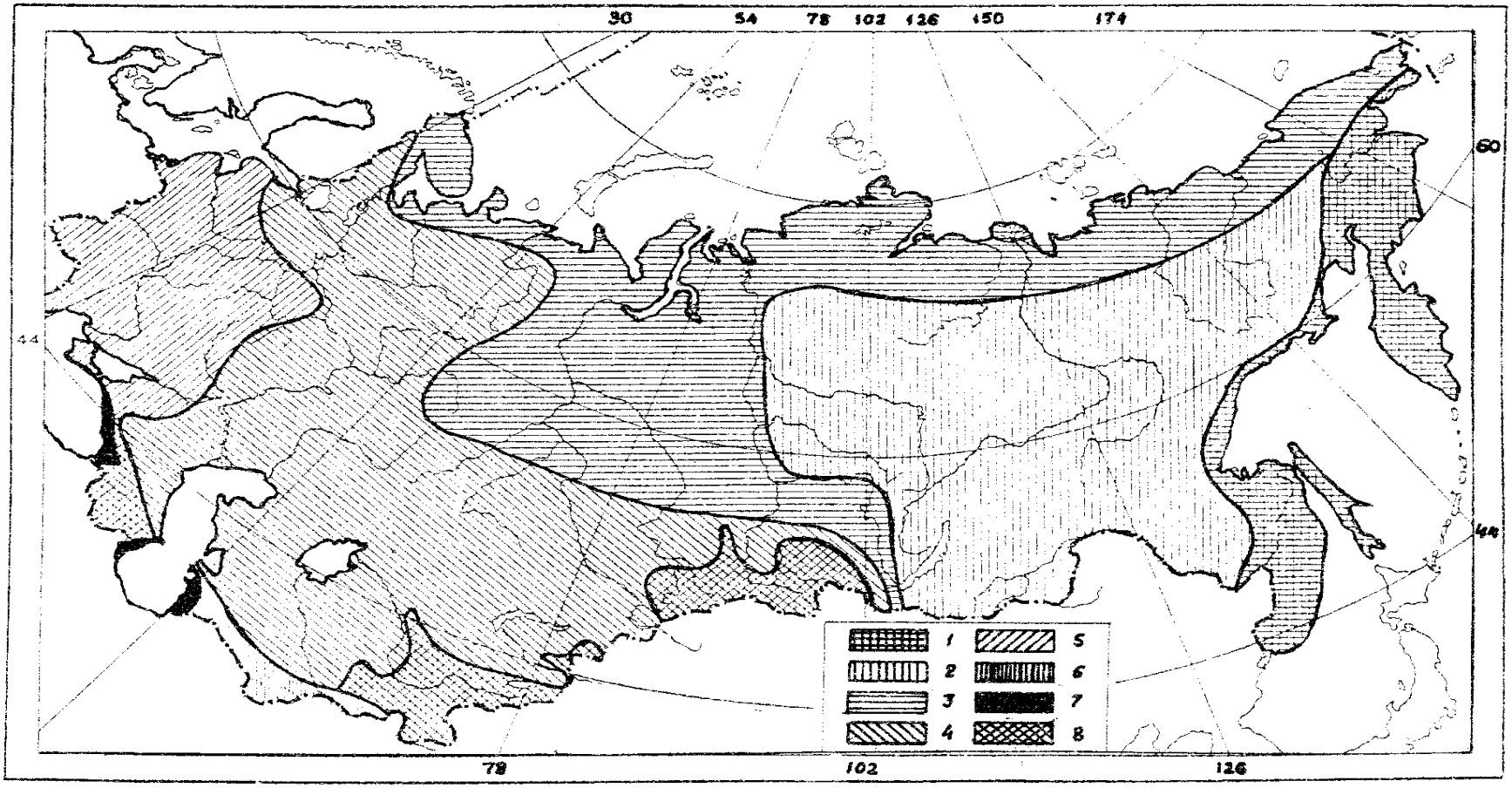


Рис.9.4 – **Карта типів кривих ймовірності приморозків (σ).**

Величина σ: 1 – від 5 до 7; 2 – від 7 до 9; 3 – від 9 до 11; 4 – від 11 до 13; 5 – від 13 до 15; 6 – від 15 до 17; 7 – від 19 до 20; 8 – гірських районів, де σ зростає з висотою.

відхилення в днях від середньої багаторічної дати припинення заморозків навесні, на яку припадає даний відсоток ймовірності. Відхилення від середньої дати приморозків навесні в окремі роки симетричні для обох частин кривої ймовірності, тому коефіцієнти для них чисельно однакові і відрізняються тільки знаком (*табл.9.2*).

Таблиця 9.2 – **Коефіцієнти і ймовірність (%) припинення приморозків**

Ймовір-ність (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коефіці-єнти	-2,25	-1,28	-0,84	-0,52	-0,25	0	0,25	0,52	0,84	1,28	2,25

Приклади наведені в *табл.9.3 - 9.6*.

1) *Розрахунок ймовірності припинення приморозків.*

Необхідно розрахувати ймовірність припинення приморозків у Чернігові. З агрокліматичного довідника середня дата припинення приморозків – 29 квітня; σ для Чернігова =14. Помноживши σ на коефіцієнти з *табл.9.2*, одержимо відхилення в днях, які відповідають різній ймовірності припинення приморозків. За відхиленням визначаємо дати, на які приходиться той чи інший відсоток ймовірності (*табл.9.2*). Встановлюємо, що в Чернігові приморозки повністю закінчуються у всі роки тільки 30 травня, а у 80% років припинення припадає на 11 травня.

Таблиця 9.3 – **Приклад розрахунку ймовірності припинення приморозків навесні, Чернігів**

Ймовірність припинення приморозків , %	Відхилення від середньої дати, дні	Дата припинення приморозків
10	-18	11/IV
20	-12	17/IV
30	-7,3	22/IV
40	-3,5	26/IV
50	0	29/IV
60	3,5	2/V
70	7,3	6/V
80	12	11/V
90	18	17/V
100	31	30/V

2) ***Розрахунок сходу снігового покриву.***

У цьому прикладі висота снігу 42 см і він почав танути 1 квітня. До 9 квітня шар розталого снігу ($\sum n$) становить 129 мм. Середній запас води в снігу на 1 квітня становив $\bar{x}$ =107 мм. На 9 квітня k= 1,2. З графіка (*рис.9.1*) визначаємо, що при k= 1,2 28% площі залишається під снігом, а на 12 квітня сніг зійде повністю.

Таблиця 9.4 – **Приклад розрахунку сходу снігу**

Дата	Середня за добу температура повітря, °С	$n=5t$, мм	$\sum n=\sum 5t$, мм	$k=\frac{\sum n}{\bar{x}}$	f,%
квітень					
1	0,8	4,0	4,0	0,04	100
2	1,2	6,0	10,0	0,09	100
3	3,2	16,0	26,0	0,24	100
4	2,4	12,0	38,0	0,35	97
5	1,4	7,0	45,0	0,42	94
6	2,5	12,5	57,5	0,53	88
7	4,4	22,0	79,5	0,74	72
8	5,4	27,0	106,5	1,0	45
9	4,5	22,5	129,0	1,2	28
10	8,4	42,0	171,0	1,6	11
11	8,4	42,0	213,0	2,0	4
12	8,4	42,0	255,0	2,4	0

3) ***Розрахунок зниження вологості грунту.***

Необхідно визначити просихання грунту до 35-30% об’ємної вологості, що відповідає м’якопластичному стану грунту. При найбільшому насиченні грунту водою об’ємна вологість становить близько 50%. Розрахунки наведені у *табл.9.5*. Через 6 днів, на 19 квітня, грунт просохне до 34%, тобто до м’якопластичного стану.

Таблиця 9.5 – **Приклад розрахунку зниження вологості грунту**

Дата	13.IV	14.IV	15.IV	16.IV	17.IV	18.IV	19.IV	20.IV
Температура повітря, °С	8	8	8	12	12	12	12	12
Опади, мм	-	-	2	-	3	-	-	-
Зміна об'ємної вологості грунту, % за 1 день (з табл.9.1) зменшення	4	3	3	3	3	3	2	1
Зміна об'ємної вологості грунту, % за 1 день (з табл.9.1) збільшення	-	-	2	-	3	-	-	-
Вологість грунту на кінець дня (% об'ємної вологості)	46	43	42	39	39	36	34	33
Характеристика стану грунту	рідке боло-то	густе боло-то	густе боло-то	густе боло-то	густе боло-то	густе боло-то	просо-хлий грунт	просо-хлий грунт

4)*Розрахунок термінів сівби пізніх теплолюбних культур – гречки, кукурудзи, проса.*

Розрахунок проводиться у *табл.9.6*. Спочатку з рівняння (*9.*9 або 9.*10*) визначається температура грунту на глибині 5 см на кожну добу за даними температури повітря. Потім визначається стійкий перехід температури грунту через 8°С (у нашому прикладі це 25 квітня). Визначаються дати появи сходів шляхом підрахунку сум температур, необхідних для появи сходів: 75°С – для гречки (7.V); 120°С – для кукурудзи (16.V); 150°С – для проса (17.V). Потім визначається ймовірність пошкодження приморозками за вказаним вище прикладом (див. *табл.9.3*).

Таблиця 9.6 – **Приклад розрахунку термінів сівби теплолюбивих культур**

Дата	Середньо-добова температура повітря, ^{0}C	Температу-ра грунту на глибині 5 см, ^{0}C	Дата	Средньо-добова температура повітря, ^{0}C	Температу-ра грунту на глибині 5см, ^{0}C
квітень			26	10	9
1	1	-	27	10	9
2	1	-	28	12	10
3	2	-	29	14	11
4	2	-	30	14	12
5	2	-	травень		
6	2	0	1	15	13
7	3	2	2	15	13
8	3	3	3	12	12
9	3	3	4	10	11
10	4	4	5	8	10
11	4	4	6	8	9
12	4	4	7	8	8
13	4	4	8	8	8
14	4	4	9	8	8
15	5	5	10	8	8
16	6	6	11	8	8
17	6	6	12	9	8
18	3	5	13	12	9
19	3	5	14	18	12
20	3	5	15	20	14
21	6	6	16	20	15
22	7	6	17	17	15
23	8	7	18	16	15
24	8	7	19	15	14
25	10	8			

Перехід температури повітря через 0°С - 1.IV

Схід снігу - 5.IV.

Перехід температури повітря через 10°С і температури грунту на глибині 5 см через 8°С – 25.IV.

Початок сівби гречки, кукурудзи і проса (по прогріванню грунту) - 25.IV.

Сходи:

гречки ($\sum t_{еф.}$= 75°С) – 7.V,
кукурудзи ($\sum t_{еф.}$= 120°С) – 16.V
проса ($\sum t_{еф.}$= 150°С) – 17.V

Ймовірність припинення приморозків:
7 травня – 72%
16 травня – 88%
17 травня – 90%

Оптимальні терміни сівби:
кукурудзи і проса – 25.IV
гречки – 30.IV

9.2 Оцінка та прогноз агрометеорологічних умов періоду збирання зернових культур

9.2.1 Прогноз термінів дозрівання хлібів

Кількісні показники оцінки агрометеорологічних умов в період збирання зернових культур були розроблені А.В.Процеровим і уточнені пізніше М.Т.Лубніним [68].

Встановлено, що настання фаз розвитку рослин, у тому числі і фаз воскової та повної стиглості зернових, залежить від температури повітря. Збирання хлібів ведеться прямим комбайнуванням при повній стиглості і роздільним, у валки, у фазу воскової стиглості. Фаза воскової стиглості розраховується за допомогою сум ефективних температур. Підрахунок сум для зменшення помилок визначають від попередньої фази: для жита – від дати цвітіння, для пшениці і ячменю – від дати колосіння, для вівса – від дати викидання волоті. Ці суми наводяться у *табл.9.7*.

Наступний після накопичення вказаних сум температур, день, є датою настання воскової стиглості. Очікувану середньодобову температуру визначають з прогнозу погоди на місяць. Шляхом графічної обробки середню місячну температуру перетворюють у середню добову. Прогноз складається через 10 діб після колосіння.

Таблиця 9.7 – **Сума ефективних (вище 5°С) температур, необхідна для наступу фази воскової стиглості**

Культура	Сорт	Фаза, від якої ведеться розрахунок	Сума ефективних температур, ^{0}С
Озиме жито	більшість сортів	цвітіння	400
Озима пшениця	більшість сортів	колосіння	490
Яра пшениця	«Альбідум 370»	колосіння	450
Яра пшениця	«Народна»	колосіння	540
Овес	«Радянський»	викидання волоті	466
Овес	більшість сортів	викидання волоті	428
Ячмінь	«Вінер»	колосіння	410
Ячмінь	більшість сортів	колосіння	388

Графічний метод полягає у тому, що з кліматичних або агрокліматичних довідників і місячного прогнозу погоди виписують середню багаторічну температуру попереднього, прогнозованого та наступного місяців. Графік будується так, щоб 1 мм відповідав 1 дню на осі абсцис, а на осі ординат 1 мм – 0,1°С. Значення середніх місячних температур відкладають на 15 число кожного місяця і послідовно їх з'єднують між собою. Після того, як графік побудовано, з кривої визначають середню температуру будь-якого дня.

Приклад графічного методу визначення середньої за добу температури наводиться на *рис.9.5*, на якому згідно з кривою 1 визначається середня за добу температура кожного дня місяця. Якщо у місячному прогнозі вказується не очікувана температура, а її відхилення від норми, тоді до значень середньої багаторічної температури додається або віднімається величина відхилення згідно з прогнозом і будується інша крива (на *рис.9.5* це крива 2).

Повна стиглість хлібів є показником початку прямого комбайнування або обмолоту валків, які висохли. Тривалість періоду переходу від воскової стиглості до повної знаходиться у тісній залежності від вологості повітря. Чим вище у цей період дефіцит насичення, тим коротша його тривалість.

Визначення дати настання повної стиглості проводиться за допомогою підсумовування дефіцитів насичення повітря. Міра висихання хлібів визначається за кожну добу (*табл.9.8*) і результати підсумовуються. За добу повної стиглості приймають дату, коли сума висихання становить 100%.

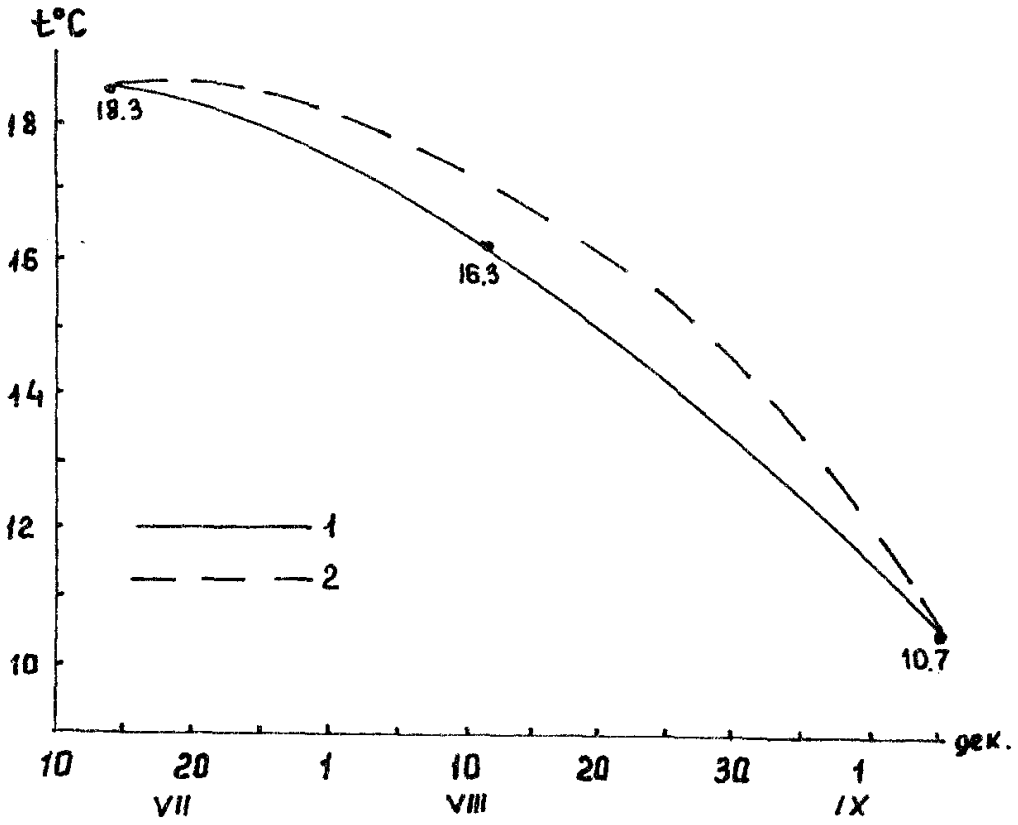


Рис.9.5 – **Графік для визначення середньої за добу температури повітря за даними середніх за місяць значень температури (1) і за відхилення її від середніх багаторічних значень на 1^0C в серпні (2).**

Таблиця 9.8 **– Швидкість висихання хлібів (за М.Т.Лубніним)**

Суха зона (опади 1-3 дні в декаду)				
Середній за добу дефіцит насичення повітря, мб	швидкість висихання , % за добу		тривалість усього періоду, дні	
	у стеблестої	у валках	у стеблестої	у валках
2	4,8	5,5	20,6	18,0
4	7,0	7,4	14,5	13,5
6	8,4	11,3	11,8	8,8
8	9,8	15,1	10,2	6,6
10	11,0	18,8	9,1	5,3
12	12,0	20,8	8,3	4,8
14	13,0	25,0	7,7	4,0
16	14,0	26,3	7,2	3,8
18	14,6	29,0	6,8	3,3
20	15,6	30,3	6,4	3,0
Волога зона (опади 4-6 днів в декаду)				
Середній за добу дефіцит вологості повітря, мб	швидкість висихання , % за добу		тривалість усього періоду, дні	
	у стеблестої	у валках	у стеблестої	у валках
2	6,0	6,2	17,2	17,4
4	8,7	8,9	11,4	11,6
6	11,2	11,3	8,9	9,0
8	13,3	13,3	7,5	7,5
10	15,4	15,5	6,5	6,6
12	16,6	16,8	6,0	6,4
14	18,5	18,2	5,4	5,4
16	20,0	19,6	5,0	4,6
18	21,7	21,3	4,6	4,3
20	22,7	22,1	4,4	4,0

Формула розрахунку дати повної стиглості має вигляд:

$$D = D_1 + 100 / a \,, \qquad (9.17)$$

де D – дата повної стиглості;

D_1 – дата воскової стиглості;

a – швидкість висихання хліба з *табл.9.8*.

Розрахунок краще виконувати у формі таблиці (*табл.9.9*).

Воскова стиглість жита, для настання якої необхідна сума ефективних температур ($\sum t_{еф.}$ = 400°С), буде 9 липня.

Таблиця 9.9 – **Форма для розрахунку дати наступу воскової стиглості жита (цвітіння жита 16 червня)**

Показник	Числа місяця											
	Червень							Липень				
	17	18	19	20	21	22	...	....	6	7	8	9
Середня за добу температура повітря, ° С	21	18	15	19	17	18	...	...	21	29	17	25
Ефективна температура (вище 5 ° С)	18	13	10	14	12	13	...	...	16	24	12	20
Сума ефективних температур (вище 5 ° С)	18	31	41	55	67	70	...	...	345	369	381	401

9.2.2 Вплив агрометеорологічних умов на вологість зерна і соломи та на проростання зерна у валках

Визначення вологості зерна у момент збирання має дуже велике значення. Найбільш тісний зв’язок вологості зерна спостерігається з дефіцитом насичення повітря та сумою опадів. Встановлено, що найбільш сухе зерно буває при дефіцитах насичення 5-11 мб і відсутності опадів. При зменшенні дефіциту без опадів або при дефіциті 5-11 мб за будь-якої кількості опадів вологість зерна збільшується на 30-40%. При цьому вологість зерна у валках збільшується більше, ніж у стеблестої.

Наявність залежності між вологістю зерна та дефіцитом вологості повітря дозволяє розрахувати очікувану вологість зерна і соломи, використовуючи *табл.9.10*.

Таблиця 9.10 – **Залежність вологості зерна і соломи від дефіциту насичення повітря**

Дефіцит насичення повітря, мбар	Вологість, %		Дефіцит насичення повітря, мбар	Вологість, %	
	зерна	соломи		зерна	соломи
1	28,3		8	15,3	22,3
2	24,2	46,0	9	14,6	
3	21,5		10	14,2	19,2
4	19,2	32,0	11	13,7	
5	18,0		12	13,4	17,8
6	16,8	25,0	13	13,0	
7	16,0		14	12,7	16,0
15	12,5		22	11,0	12,2
16	12,2	14,8	23	10,9	
17	12,0		24	10,7	11,8
18	11,7	14,0	25	10,5	
19	11,5		26	10,4	10,4
20	11,3	13,1	27	10,3	
21	11,1		28	10,1	10,0

Залежність вологості зерна і соломи від дефіциту насичення повітря майже однакова для ярих і озимих культур, тому таблицю використовують для визначення вологості в період збирання як ярих, так і озимих зернових культур.

За несприятливих умов після збирання хлібів у валки спостерігається проростання зерна у валках. Умови, що викликають проростання зерна утворюються, якщо дефіцит насичення повітря становить до 4 мб і нижче і температура повітря – 5-14°С. При температурі вище 14°С зерно не проростає тому, що збільшується сухість повітря, а при температурі 5°С і нижче – через нестачу тепла.

Насіння у валках починає проростати, коли дефіцит насичення повітря у продовж декількох днів безперервно нижче 4 мб, а сума ефективних температур вище 5°С складає 14°С. Якщо ж сума ефективних температур становить 25-30°С і дефіцит насичення нижче 4 мб, то спостерігається сильне проростання зерна, а сума температур 40-50° С обумовлює розгортання листя у колосі.

***Наприклад*:**

Таблиця 9.11 – **Розрахунок можливого проростання зерна у валках (воскова стиглість 20 серпня)**

Показник	Дата								
	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Температура повітря, °С	18	14	10	11	13	10,5	15	16	16
Дефіцит насичення повітря, мб	8,0	4,0	4,0	3,5	3,5	2	6	7	8
Опади, мм	-	9,6	-	2,5	-	-	-	-	-
Сума ефективних температур, °С	-	9	14	20	28	33	-	-	-

За умов, що наведені у *табл.9.11*, проростання зерна у валках спостерігається до 25 серпня. Потім і температура повітря і дефіцит насичення підвищаться, тому проростання зерна припиниться.

9.2.3 Оцінка агрометеорологічних умов роботи комбайна

Робота комбайнів значною мірою залежить від підготовки їх матеріальної частини до збирання, наявності пального, організації збирання і, щонайбільше, від метеорологічних умов. Тривалість роботи комбайна залежить від добового ходу дефіциту насичення повітря, оскільки від нього залежить вологість зерна і соломи (*табл.9.8*).

Якщо дефіцит насичення повітря більше 8 мб і якщо всі інші причини відсутні, то комбайни працюють високоефективно і втрати зерна невеликі.

Зменшення дефіциту насичення нижче 8 мб призводить до збільшення вологості зерна і соломи, підвищуються втрати зерна через недомолот, погіршуються умови роботи комбайна. Дефіцит насичення нижче 3 мб викликає припинення роботи комбайна.

Дефіцит насичення повітря протягом доби не залишається постійним і має чітко визначений добовий хід (*рис.9.6*).

Протягом дня несприятливі умови для збирання складаються вранці та ввечері. Вранці часто випадає роса і маса хлібів перезволожена, тому і робота комбайна ускладнюється або зовсім неможлива. У вечірні часи

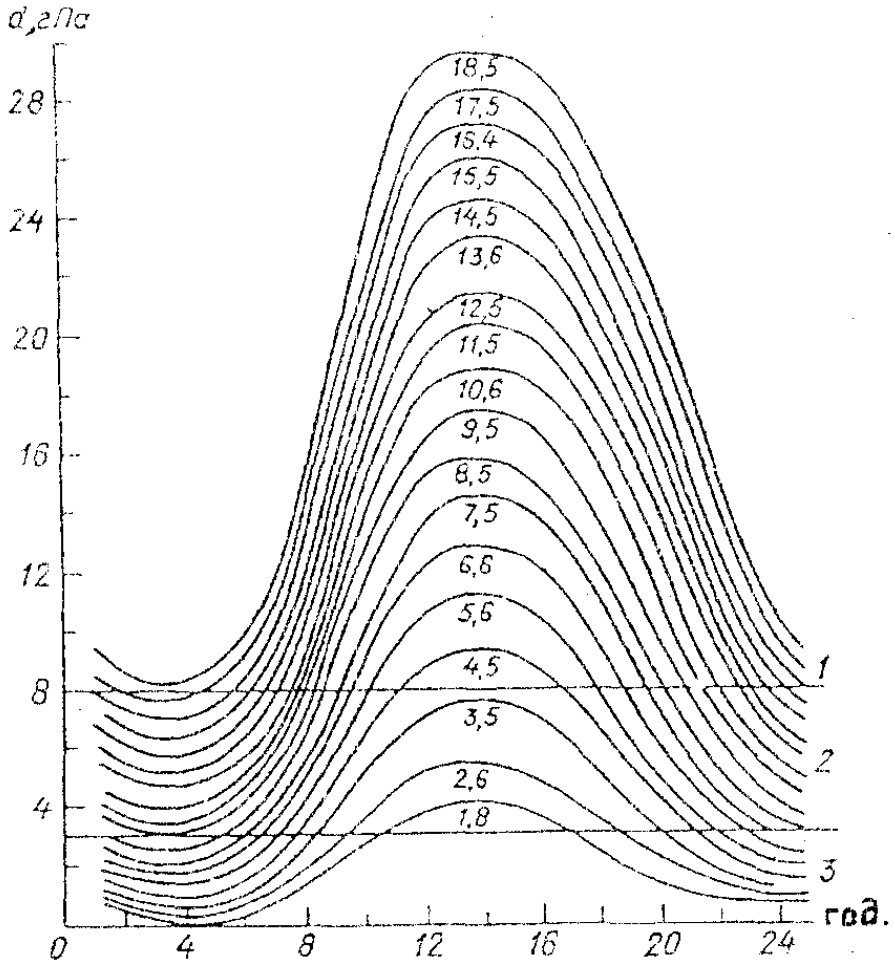


Рис.9.6 – **Добовий хід дефіциту насичення повітря за його середнього значення. 1 – добрі умови роботи комбайна; 2 – середні умови; 3 – погані умови; цифри у полі графіка – середній добовий дефіцит насичення повітря, гПА.**

саме. Була розрахована кількість годин роботи комбайнів при різних значеннях середньодобового дефіциту насичення повітря (*табл.9.12*)

Таблиця 9.12 – **Кількість годин на добу з добрими, середніми та поганими умовами роботи комбайна при різних значеннях середньодобового дефіциту насичення повітря**

Середньодобове значення дефіциту, мб	Умови роботи комбайна (год)			
	добрих	середніх	поганих	умовно добрих
3	0,0	10,5	13,5	5,3
4	3,5	9,0	11,5	8,0
5	6,5	7,5	10,0	10,2
6	8,5	7,0	8,5	12,0
7	10,0	7,0	7,0	13,5
8	11,0	8,0	5,0	15,0
9	12,0	9,0	3,0	16,5
10	13,0	11,0	0,0	18,5
11	14,0	10,0	0,0	19,0
12	15,0	9,0	0,0	19,5
13	15,5	8,5	0,0	20,0
14	16,5	7,5	0,0	20,3
15	17,5	6,5	0,0	20,8
16	18,5	5,5	0,0	21,3
17	20,0	5,5	0,0	22,3
18	22,0	2,0	0,0	23,0

Кількість годин умовно добрих агрометеорологічних умов розраховується шляхом підсумовування кількості усіх добрих і половини середніх.

Такі розрахунки проводяться по декадах, тижнях і в цілому за весь період збирання зернових.

Багаторічні спостереження дозволили отримати рівняння виробності комбайна (ω) в залежності від дефіциту насичення (*d*):

$$\omega = 1{,}27d + 7{,}5 \text{ [т/день]} \qquad (9.18)$$

Але продуктивність роботи комбайна залежить не тільки від значення дефіциту насичення повітря, а також від рельєфу поля, складності його конфігурації, довжини рядків, висоти і густоти стеблестою.

Приклад оцінки роботи комбайна за даними метеорологічних спостережень наводиться у *табл.9.13*.

Дослідами встановлено, що в залежності від агрометеорологічних умов продуктивність комбайна визначається також за намолотами зерна (у тонах за день):

$$\omega = 1{,}27d + 7{,}5, \text{ [т/день]} \qquad (9.19)$$

де ω – продуктивність комбайна, т/день;
d – дефіцит насичення повітря, гПа.

Таблиця 9.13 – **Оцінка умов роботи комбайна за даними метеорологічних спостережень**

Параметри	Місяць, число										Середнє за 10 днів
	Серпень										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Дефіцит насичення повітря, мб	3,0	2,8	2,8	6,5	4,0	3,1	5,3	10,0	13,0	4,6	5,5
Кількість умовних годин роботи комбайна	5,0	4,1	4,1	13,2	8,0	5,3	11,1	17,8	20,1	9,8	9,8
Середня багаторічна кількість умовно добрих годин роботи комбайна	13,5	13,3	13,1	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	12,6
Оцінка у % від середніх багаторічних умов	37	31	31	110	62	42	90	146	168	84	78

Пропускну можливість комбайнів ($Q_{пр.}$) розраховують також за виразом:

$$Q_{пр.} = Q_o \frac{1 - Z_o}{1 - Z_ф} \left[Z_o \frac{100 - V_з^ф}{100 - V_з^к} + (1 - Z_o - \varepsilon) \frac{100 - V_c^ф}{100 - V_c^к} \right] (1 + \varepsilon), \qquad (9.20)$$

де $Q_{пр.}$ – пропускна здатність комбайну за еталонних умов:

Z_o та $Z_ф$ – еталонна та фактична питома вага зерна у масі, г;

$V_з^ф, V_з^к$ – фактична і кондиційна вологість зерна;

$V_c^ф, V_c^к$ – фактична і кондиційна вологість соломи;

ε – забрудненість посівів бур'янами.

Але розрахунки за формулою (*9.20*) досить складні і використовуються лише для порівняльної оцінки.

Для оцінки умов збирання хлібів і встановлення норм для зернозбиральних комбайнів необхідно враховувати рельєф поля, складність його конфігурації, довжину рядків, висоту і густоту хлібостою, що значно ускладнюють роботу комбайнів.

9.2.4 Розрахунок кількості втрат зерна за збирання в несприятливих агрометеорологічних умовах

Під час збирання хлібів в несприятливих агрометеорологічних умовах збільшуються втрати зерна. Дослідження М.Г.Лубніна [68] дають змогу розраховувати такі втрати.

Втрати зерна відбуваються, головним чином, від обсипання на корінні та при комбайнуванні:

$$B = \sum_{вк} - \sum_{во}, \qquad (9.21)$$

де B – загальні втрати;

$\sum_{вк}$ – втрати при комбайнуванні;

$\sum_{во}$ – втрати від обсипання.

Втрати зерна від обсипання, починаючи з дати повної стиглості і до початку збирання комбайном, розраховуються для кожної доби за рівняннями для декади:

Озимина:

I декада – y=0,05d + 0,10 (σ = ±0,1%), (9.22)

II декада – y=0,09d + 0,15 (σ = ±0,1%), (9.23)

III декада – y=0,18d + 0,20 (σ = ±0,2%), (9.24)

IV декада – y=0,21d + 0,25 (σ = ±0,2%) (9.25)

Ярі культури (пшениця, ячмінь):

I декада – y=0,45d + 0,11 (σ = ±0,15%), (9.26)

II декада – y=0,94d + 0,20 (σ = ±0,20%), (9.27)

де y – величина щоденних втрат зерна на залишках площі, %;
d – зміна середнього за добу дефіциту насичення повітря поточного дня відносно до попереднього, мб.

Втрати зерна за комбайном щоденно від початку збирання розраховуються за формулою:

$$B_{вк} = 0{,}021S^2 - 0{,}06S + 5{,}76, \qquad (9.28)$$

$$R = 0{,}98;\ S_B = \pm 1{,}6\%\ ,$$

де $B_{вк}$ – втрати зерна, %, (*рис.9.7*);
S – вологість зерна,%

Приклад розрахунку втрат зерна наводиться у *табл.9.14*. Повна стиглість озимої пшениці –18 серпня, збирати почали 28 серпня, закінчили збирати 8 вересня. Втрати зерна згідно з формулою (*9.21*) щоденно становили 0,8% протягом 5 днів, бо дефіцит насичення повітря становив 2-4 мб. За останні десять днів втрати становили 0,2%. Якщо середній врожай складав 24 ц/га, то загальні втрати (2,5%) складали 0,6 ц/га (*табл.9.14*) до 28 серпня. З 28 серпня по 8 вересня втрати становили 1%. В цілому за несприятливих агрометеорологічних умов на площі 25 га за 22 дні, починаючи з дати воскової стиглості, втрати становили 13% або 5,85 т.

9.2.5 Розрахунок середніх втрат врожаю по області

Середні по області найменші втрати врожаю спостерігаються у межах 0,5-0,9 ц/га і бувають у випадках, коли тривалість періоду збирання 15-20 діб при оцінці агрометеорологічних умов не менше 100%.

Середні по області великі втрати зерна (4-7ц/га) спостерігаються, якщо тривалість періоду збирання складає більше 30 діб при оцінці агрометеорологічних умов 50% і менше. Встановлено також, що чим більший врожай, тим більші втрати зерна.

Загальні втрати зерна при різній величині врожаю розраховуються за рівняннями:

Озимина, якщо врожай становить 10-25 ц/га:

$$y_1 = 1{,}49 - 4{,}41x_1 + 0{,}80x_2 \qquad (9.29)$$

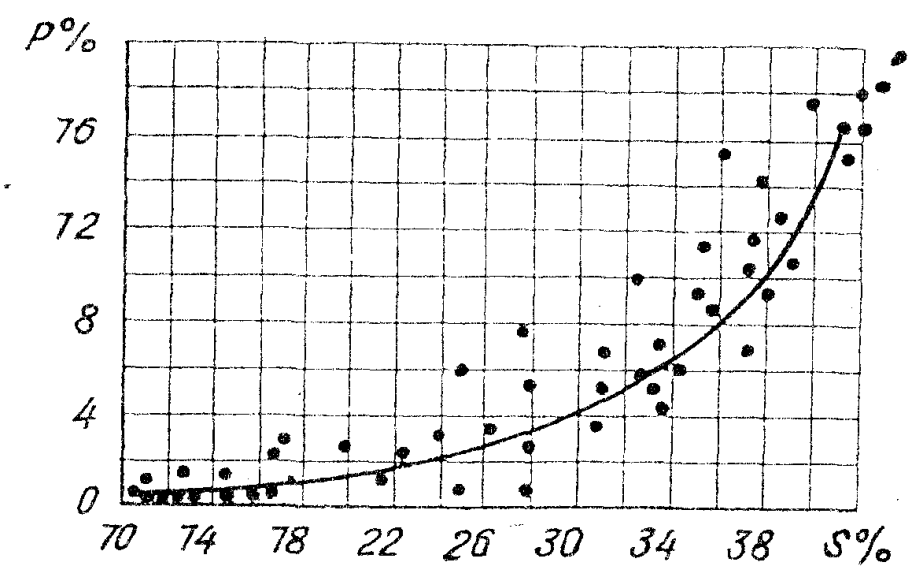


Рис.9.7 – **Залежність втрат урожаю пшениці (B_K, %) від недомолоту при різній вологості зерна (*S*, %)**

Таблиця 9.14 – **Приклад розрахунку втрат врожаю (ст.Миронівка)**

Параметри		Серпень										
		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Середній за добу дефіцит насичення повітря, мб		8,3	8,0	7,4	11,6	14,2	10,4	12,7	8,3	6,9	9,1	12,8
Перевишення дефіциту насичення повітря наступного дня в порівнянні з попереднім днем, мб		-	-	-	4,2	2,6	-	2,3	-	-	2,2	3,7
1. Опади, мм		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Середня добова тривалість опадів, год.		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Залишилось зібрати:	25 га	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	60 т	59,88	59,76	59,64	59,46	59,28	59,16	59,98	58,86	58,74	58,56	58,38
Вологість зерна, яке зібрали,	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Втрати від недомолоту,	%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	кг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Втрати від осипання,	%	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
	кг	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сума втрат:	%	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,4	1,7	1,9	2,1	2,4	2,7
	т	0,12	0,24	0,36	0,54	0,72	0,84	1,02	1,14	1,26	1,44	1,62

Продовження таблиці 9.14

Параметри		Серпень			Вересень							
		29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8
Середній за добу дефіцит насичення повітря, мб		13,5	12,8	11,2	7,8	3,4	1,8	0,7	1,2	4,4	4,7	7,0
Перевишення дефіциту насичення повітря наступного дня в порівнянні з попереднім днем, мб		0,7	-	-	-	-	-	-	0,5	3,2	0,3	2,3
Опади, мм		-	-	-	-	-	0,8	14,5	17,5	0,1	10,	-
Середня добова тривалість опадів, год.		-	-	-	-	-	6	14	15	3	3	-
Хід збору по днях, га		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	-
Залишилось зібрати:	25га	22,5	20,0	17,5	15,0	12,5	10,0	7,5	5,0	2,5	-	-
	60т	42,67	36,37	30,31	24,31	17,50	11,0	6,0	4,0	2,0	-	-
Вологість зерна, яке зібрали,	%	12,8	13,1	13,7	15,4	26,6	25,0	28,9	27,5	18,7	18,4	16,0
Втрати від недомолоту,	%	1,0	1,0	1,0	1,7	5,3	14,0	24,0	15,0	3,7	3,5	-
	кг	60	64	32	85	270	760	1250	770	160	154	
Втрати від осипання,	%	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,5	0,38	0,38
	кг	172	120	115	90	55	33	18	30	10	-	-
Сума втрат:	%	3,20	3,60	4,00	4,47	5,30	7,00	9,70	11,55	12,42	13,15	
	т	1,85	2,02	2,19	2,36	2,69	3,47	4,72	5,52	5,69	5,85	

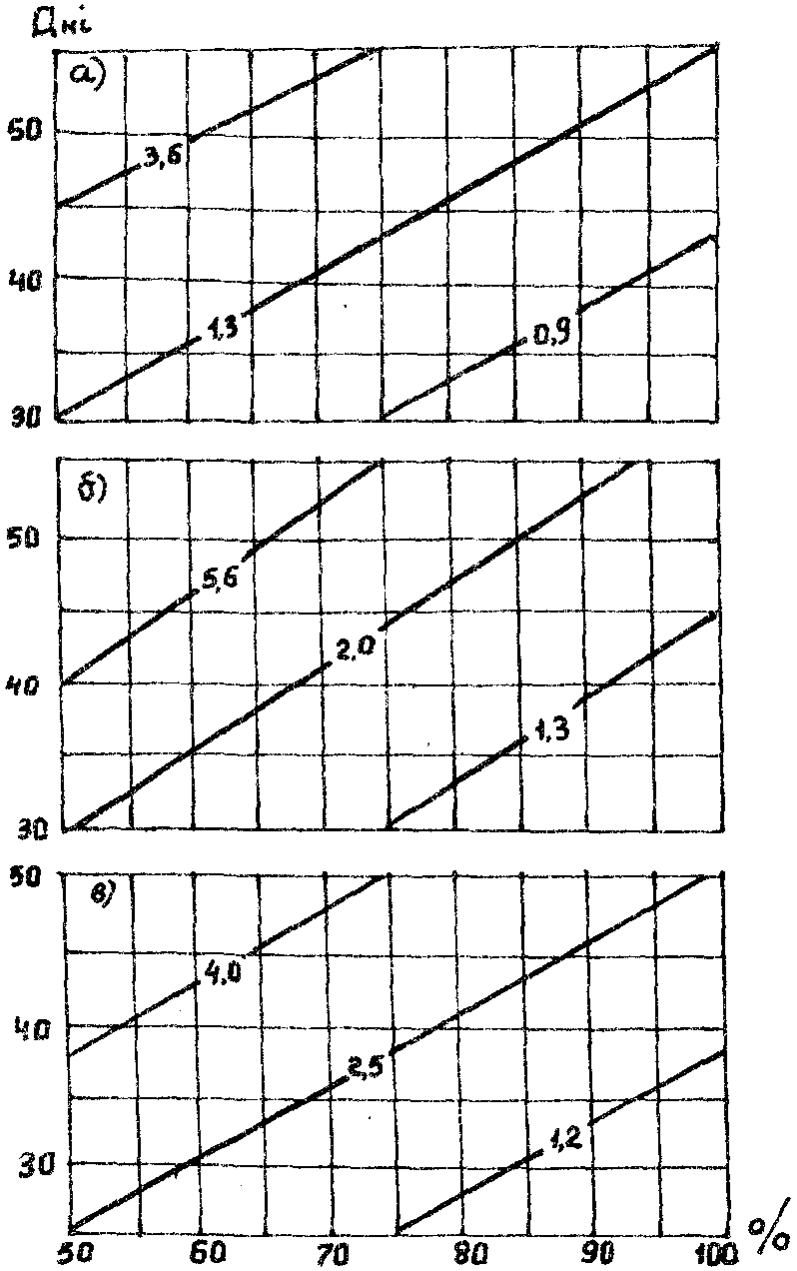


Рис.9.8 – **Залежність середніх по області втрат зерна від середньої тривалості періоду збирання і середньої оцінки агрометеорологічних умов (не більше 100%):**

а – озимі, врожай 10-15 ц/га; б – озимі, врожай 16-25 ц/га;
в – ярі, врожай 10-15 ц/га.

Озимина, якщо врожай становить 16-25 ц/га:

$$y_2 = 1{,}38 - 4{,}61x_1 + 0{,}10x_2 \; ; \qquad (9.30)$$

Ранні ярі культури – за виразом (*9.29*)

де y_1, y_2 – втрати зерна, ц/га;

x_1 – обласна тривалість періоду збирання, дні;

x_2 – середня обласна оцінка агрометеорологічних умов,% (не більше 100%).

Для спрощення розрахунків за рівняннями (*9.28–9.30*) були побудовані графіки (*рис.9.8*), на яких на осі абсцис відкладені оцінки агрометеорологічних умов (в % від норми), на осі ординат – середня по області тривалість періоду збирання (в днях), у полі графіка – середні по області втрати врожаю (ц/га).

Приклад розрахунку середніх по області втрат зерна наводиться у *табл.9.15*.

Таблиця 9.15 – **Приклад розрахунку середніх по області втрат врожаю (Київська область)**

Дата початку збирання – 1.VIII,
кінець збирання – 10.IX,
тривалість збирання – 41 день

Декада від початку збирання	Середня декадна оцінка періоду збирання, % норми			
	Фастів	Б.Церква	Миронівка	Сер. обласні
I	70	75	100	85
II	96	90	120	60
III	45	38	90	120
IV	100	90	140	92
Середня оцінка за період, %	70	77	120	90

З графіків (*рис.9.8*) визначається величина втрат зерна за період збирання. У даному випадку втрати становлять 2.7 ц/га.

9.3 Оцінка агрометеорологічних умов в період збирання врожаю картоплі

Метод оцінки агрометеорологічних умов періоду збирання картоплі запропонований А.М.Польовим [70] і основується на врахуванні умов зволоження орного шару грунту в декаду збирання, максимальної температури повітря та суми опадів в день збирання, а також вологості стійкого в'янення орного шару грунту.

Було одержано рівняння зв'язку, що описує вплив агрометеорологічних умов на втрати врожаю бульб картоплі при збиранні.

$$y = 3{,}55v + 0{,}01w^2 - 0{,}95w + 1{,}42t + 0{,}43r^2 - 1{,}38r - 1{,}20 \tag{9.31}$$

$$R = 0{,}73; \quad S_y = \pm 14{,}14; \quad n = 49$$

де y – втрати картоплі при збиранні, %;

v – вологість стійкого в'янення орного шару грунту, %;

w – запаси продуктивної вологи в орному шарі грунту в декаду збирання, мм;

t – максимальна температура повітря в день збирання, ^{0}С;

r – сума опадів у день збирання, мм.

За допомогою цього рівняння розраховуються втрати врожаю бульб картоплі, які обумовлені впливом агрометеорологічних умов на якість збирання підкопуючими та просіюючими знаряддями картоплезбиральних машин.

Розрахунки за рівнянням (*9.31*) спрощуються за допомогою графиків (*рис.9.9*). За даними Л.О.Разумової [71] вологість стійкого в'янення супіщаних грунтів 1,5-4,0 %; легких суглинків – 3,5-7,0 %; середніх суглинків - 5,0-7,0 % та важких суглинків – 8,0 - 12 %.

При побудові графіків вологість стійкого в'янення взята для супіщаних грунтів 2,8%; легких та середніх суглинків – 5,6%; важких суглинків – 10%.

Ці графіки побудовані так: на осі абсцис відкладені запаси продуктивної вологи, на осі ординат – максимальна температура. Ізолінії відповідають втратам врожаю картоплі при збиранні. Крім того, для графіків розраховані поправки до одержаних величин втрат залежно від сум опадів у день збирання (*табл.9.16*).

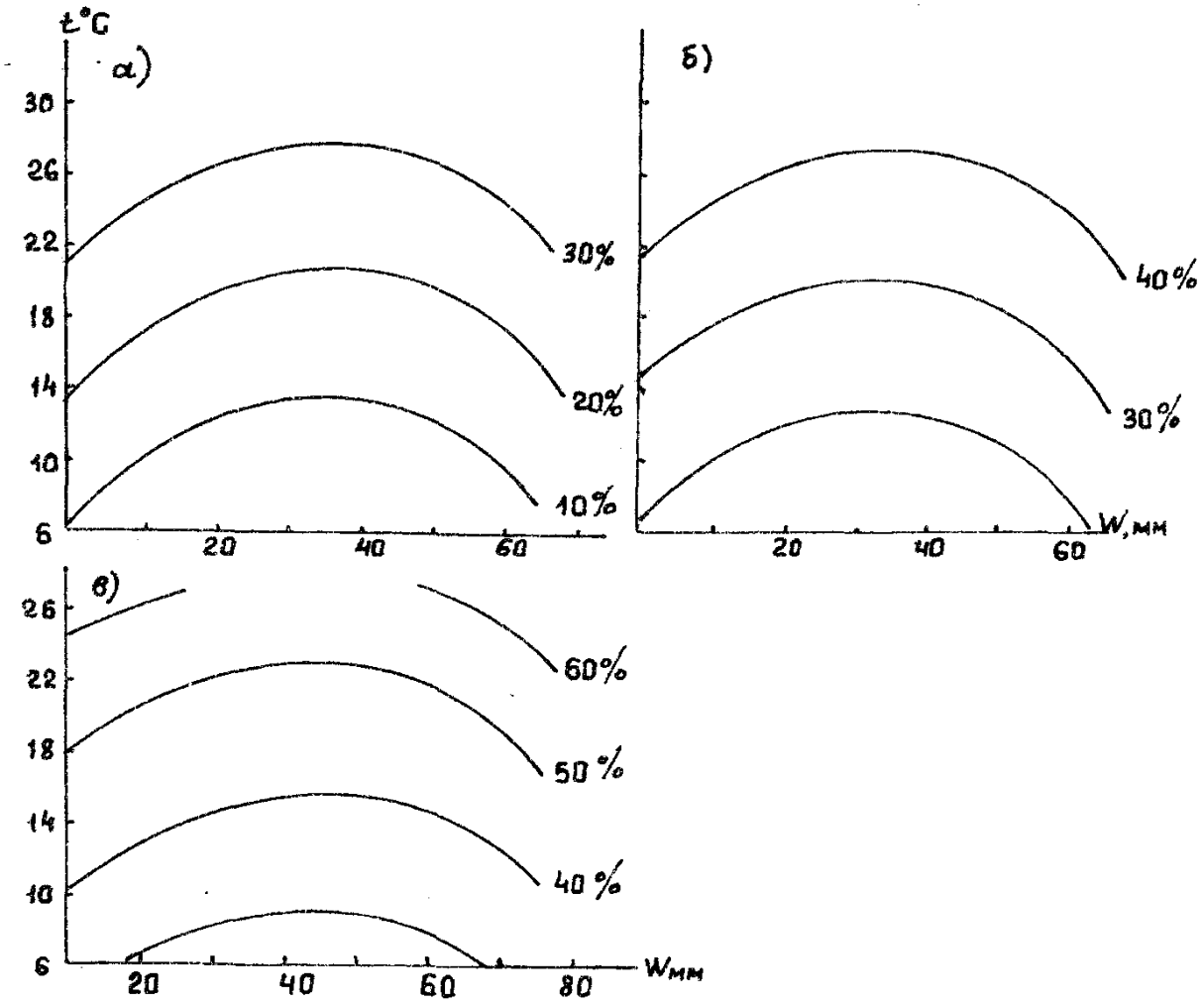


Рис.9.9 –**Втрати врожаю бульб картоплі при збиранні (%) в залежності від запасів продуктивної вологи в орному шарі у декаду збирання (*W*,мм) та максимальної температури повітря у день збирання (*t*): на опідзолених супіщаних (*а*); опідзолених легких і середніх суглинках (*б*) та опідзолених важких суглинках (*в*).**

Таблиця 9.16 – **Поправки при визначенні втрат врожаю залежно від сум опадів у день збирання**

Сума опадів у день збирання, мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поправка, %	0	-1	-1	0	1	4	7	11	16	22

Одержана таким чином розрахункова величина втрат врожаю картоплі при збиранні характеризує міру сприяння агрометеорологічних умов проведенню збирання. За сприятливих агрометеорологічних умов втрати на при збиранні на супіщаному грунті становлять менше 10%; на легких та середніх суглинках – менше 15%; на важких – менше 20%. В залежності від градації втрат на різних за механічним складом типах грунтів визначається і відповідна оцінка агрометеорологічних умов (*табл.9.17*).

Таблиця 9.17 – **Оцінка агрометеорологічних умов при збиранні картоплі**

Оцінка умов	Втрати врожаю (%) на різних типах грунтів		
	супіщані	легкі та середні суглинки	важкі суглинки
Добрі	<10	<15	<20
Задовільні	10-15	15-20	20-25
Недостатньо задовільні	15-20	20-25	25-30
Погані	>20	>25	>30

Розрахунок втрат врожаю і оцінка агрометеорологічних умов проводиться за кожний день з початку збирання картоплі.

Якщо втрати врожаю великі, то слід пропонувати господарству повторну оранку. Дослідження І.А.Цубербілер показали, що після першого проходу картоплезбиральної машини бульби, що залишились поблизу поверхні грунту (ледь-ледь присипані грунтом) та бульби, що знаходяться глибше, повинні збиратись окремо, бо інакше велика кількість бульб буде знову закопана у грунт. Бульби, які знаходяться близько від поверхні грунту, легко збирати кінними або тракторними граблями, особливо після дощу. Але збирати їх треба швидко, бо вони зеленіють і втрачають смакові якості.

Дуже важливо, щоб повторна оранка була зроблена зразу ж за картоплезбиральною машиною (поки не просів грунт).

Приклад: Розрахувати оцінку умов періоду збирання врожаю картоплі. У день збирання максимальна температура повітря складала 12 С; сума опадів – 1мм; грунт – опідзолений, супіщаний; запаси продуктивної вологи у орному шарі грунту – 25 мм. На графіку (*рис.9.9а*) знаходимо ізолінію, яка відповідає запасам вологи 25 мм та максимальній температурі 12^0С і записуємо втрати врожаю картоплі, що становлять 10%. Поправка на суму опадів (*табл.9.16*) становить – 1%. Таким чином втрати врожаю при збиранні картоплі складають у цей день 9%. Умови для проведення збирання картоплі (*табл.9.17*) в цей день були добрими.

9.4 Програмування врожаїв сільськогосподарських культур

Головні принципи програмування врожаїв культур сформульовані академіком І.С.Шатиловим [72].

Програмування врожаїв – це розробка комплексу взаємопов'язаних дій, своєчасне виконання яких забезпечує отримання заданого врожаю. Виходячи з цього, хід формування врожаїв визначається програмою, яка складається заздалегідь з врахуванням грунтово-кліматичних умов району та біологічних особливостей рослин. Перш за все в задачу програмування входить виявлення у вказаному районі комплексу метеорологічних умов, що формують врожай. Кількісна оцінка врожаїв залежно від агрокліматичних ресурсів дає можливість перейти до розробки комплексу агротехнічних заходів, які забезпечують ці врожаї. Крім того, програмування врожаїв також обумовлює коректування ходу формування фітоценозу на підставі отриманої оперативної інформації.

Програмування врожаїв передбачає повну реалізацію потенційної продуктивності сорту при оптимізації головних факторів життєдіяльності рослин у регульованому землеробстві і раціональне використання ресурсів клімату і грунтів за умови лімітування продуктивності посівів яким-небудь фактором.

Програмування здійснюється в декілька етапів. *Перший* – визначення потенційного врожаю (ПВ). ПВ може бути досягнутий внаслідок засвоєння посівами фотосинтетичної активної радіації (ФАР), яка надходить на поверхню рослин, якщо інші фактори були найсприятливішими.

Другий етап – визначення дійсно можливих врожаїв (ДМВ) з врахуванням тепло- і вологозабезпеченості посівів при високому рівні агротехніки. *Третій етап* – визначення врожаїв у виробничих умовах (ВВ). Відхилення виробничого врожаю від ДМВ визначається відміною реальної агротехніки від оптимальної.

Метою програмування врожаїв є наближення виробничих врожаїв до ДМВ шляхом підвищення культури землеробства, удосконалення агротехніки за рахунок підвищення родючості грунтів, меліорації земель, сортового районування та ін.

Потенційний врожай визначається з допомогою різних формул:

а) О.О.Нечипоровича

$$ПУ = \frac{Q \cdot ККД}{100C}, \qquad (9.32)$$

де *ПУ* – потенційний урожай абсолютно сухої біомаси, т/га;

Q – сума ФАР за період вегетації культури, МДж/га;

C – калорійність одиниці врожаю органічної речовини, МДж/т, в розрахунках її приймають рівною 16760 МДж/т;

ККД – коефіцієнт використання ФАР, % (*табл.9.18*).

б) Х.Г.Тоомінга, П.Х.Карінга

$$ПУ = 10^4 \eta_n K_m \frac{\sum Q_ф}{q}, \qquad (9.33)$$

де *ПУ* – потенційний врожай, кг/м^2;

η_n – потенційний ККД посіву;

q – питома теплота згорання, МДж/кг;

$\Sigma Q_ф$ – ФАР, МДж/м^2;

K_m – коефіцієнт, що визначає господарську цінність врожаю.

У розрахунках *q* = 16747 КДж/кг.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) залежить від багатьох факторів. Середні величини ККД для посівів деяких культур визначені А.А.Нечипоровичем [9]

Посіви	*ККД в %*
Що завжди спостерігаються	0,5 - 1,5
Добрі	1,5 - 3,0
Рекордні	3,5 - 5,0
Теоретично можливі	6,0 - 8,0

в) С.Т.Віт

$$ПУ = mTE_o\ , \qquad (9.34)$$

де $ПУ$ – потенційний врожай сухої біомаси, кг/га;

T – підсумкова транспірація за період росту, см;

E_o – середнє випарування з відкритої поверхні води, см/доба;

m – коефіцієнт пропорційності.

Формула Віта може використовуватись у районах, де тривалість сонячного сяйва велика.

У всіх формулах ФАР може визначатись з кліматичних довідників і атласів або розраховуватись з формули:

$$\sum Q_ф = 0{,}42\sum S' + 0{,}58\sum D\,, \qquad (9.35)$$

де $\sum S'$ – сума прямої радіації, МДж/м^2;

$\sum D$ – сума розсіяної сонячної радіації, МДж/м^2.

Якщо розрахунки ведуться згідно з формулою (9.33), то K_m визначають з виразу:

$$K_m = r_T / \sum a\ , \qquad (9.36)$$

де r_T – частка товарної продукції в загальній біомасі, приймають рівною 1;

$\sum a$ – сума часток у співвідношенні корисної і побічної продукції.

В цілому розрахунок ПУ корисної продукції визначають з формули:

$$ПУ_{к.п.} = \frac{100ПУ}{(100-\alpha)\cdot k}\,, \qquad (9.37)$$

де $ПУ_{к.п.}$ – потенційний врожай корисної продукції, т/га;

$ПУ$ – потенційний врожай абсолютно сухої біомаси, т/га;

α – стандартна вологість корисної продукції, %;

k – калорійність сухої маси врожаю, ккал/га;

Орієнтовно співвідношення корисної і побічної продукції різних культур наведені в *табл.9.19*.

Таблиця 9.18 – **Коефіцієнт корисної дії деяких фітоценозів**

Фітоценоз	ККД відносно пада-ючої радіації	Країна	Фітоценоз	ККД відносно погли-неної радіації	Країна
кукурудза	4,0-4,2	Росія	жито	2.3	Польща
-“-	1,0-2,2	Японія	рис	0,7-1,4	Японія
соя	0,4-1,1	Японія	ячмінь	1,1-4,8	Румунія
рис	0,8-1,8	Японія	боби	0,2-0,5	Румунія
цукр.буряк	1,1-1,8	Японія	соняшник	0,8-2,1	Румунія
картопля	0,9	Польща	люцерна	2,1	Японія
-“-	1,2	Росія	грястиця збірна	3,1	Японія
жито	0,9	Польща	плевел	3,0	Японія
сорго	4,0	Туркменія	конюшина	1,8	Японія
кукурудза	4,6	Росія	кукурудза	2,5-5,2	Росія
-“-	1,7-2,6	Росія	пшениця ярова	8-10	Росія
-“-	1,2-2,8	Україна	пшениця озима	1,1-6,3	Україна
-“-	0,8-1,3	Болгарія	ячмінь	2,6	Казахстан
сорго	4,0-4,4	Таджикістан	-“-	4,0	Росія
пшениця	1,7	Україна	рис	2,5-4,4	Японія
-“-	2,1-2,2	Росія	бавовна	3,4-3,6	Таджикістан
-“-	3,7-4,0	Росія	віка	1,4	Таджикістан
-“-	3,7-4,0	Росія	віка	1,4	Таджикістан
жито озиме	2,2-4,7	Україна	луг	0,4-0,8	Росія
цукр.буряк	2,1-2,8	Україна	степ	2,9	Росія
горох	2,3-4,7	Росія	тугай	4,8	Таджикістан
картопля	1,2	Росія			

Таблиця 9.19 – **Співвідношення господарсько – корисної (m_1) і побічної (m_2) продукцій для різних культур**

Культура	m_1:m_2	a	$K_{госп.}$
Озима пшениця	1:1,5	2,5	0,40
Озиме жито	1:2,0	3,0	0,33
Озимий ячмінь	1:1,2	2,2	0,45
Овес	1:1,3	2,3	0,43
Кукурудза	1:1,1	2,1	0,48
Картопля	1:1,2	2,2	0,45
Яра пшениця	1:0,7	1,7	0,59
Буряки	1:0,4	1,4	0,71

Дійсно можливий врожай (ДМВ) лімітується родючістю грунтів і дією метеорологічних факторів упродовж вегетації. ДМВ відрізняється від ПУ тим більше, чим більше метеорологічні фактори відрізняються від най-сприятливіших, і визначається з формул:

$$ДМВ = 100\ (W + \mu r)\ /\ K_W\ ; \qquad (9.38)$$

$$ДМВ = ПУ \cdot E\ /\ E_0\ ; \qquad (9.39)$$

$$ДМВ = 0{,}1\beta\ БКП, \qquad (9.40)$$

де W – запаси продуктивної вологи на весну, мм;
r – кількість опадів за вегетаційний період, мм;
K_W – коефіцієнт водоспоживання, залежить від біологічних особливостей та кліматичних умов, мм/т. Для зернових він становить 4200 - 5000 мм/т;
μ – коефіцієнт використання опадів;
E – сумарне випарування, мм;
E_0 – випарність, мм;
β – коефіцієнт, що залежить від фактичного коефіцієнта використання ФАР. Значення β, визначені дослідним шляхом, наведені в *табл.9.20* .

Таблиця 9.20 – **Значення коефіцієнта β при різних значеннях ККД ФАР**

Коефіцієнт використання ФАР(%)	1	2	3
Коефіцієнт β	10,0	20,0	30,0

Сумарне випарування визначається за будь-яким методом, описаним у розділі *3*.

Випарність визначається за формулою А.М.Алпатєва:

$$E_0 = 0{,}65\sum d\ , \qquad (9.41)$$

де $\sum d$ – сума дефіциту насичення повітря за розрахунковий період, мм.

Біокліматичний потенціал розраховується з виразу:

$$БКП = КР \cdot 0{,}001\sum t\ , \qquad (9.42)$$

де $\sum t$ – сума температур вище 10^0С;

КР – коефіцієнт біологічної продуктивності, який характеризує врожай зернових відносно 100^0С сум температур і визначається з формули:

$$КР = 1{,}15 \lg (20Md) - 0{,}21 + 0{,}63Md + Md^2\ , \qquad (9.43)$$

де *MD* – показник річного атмосферного зволоження за Д.І.Шашко;
розраховується:

$$MD = r / \sum d, \qquad (9.44)$$

де *r* – кількість опадів за рік, мм;

$\sum d$ – сума дефіциту насичення за рік, мм.

За теоретично можливу врожайність приймають найменше з усіх розрахованих значень ДМВ. Але ця врожайність буде забезпечена тільки при високій родючості грунтів.

Приклад програмування врожаю озимої пшениці.

У Вінницькій області:

запаси продуктивної вологи на весну в метровому шарі грунту становлять 180 мм;

кількість опадів за період від початку вегетації весною до збирання – 212 мм;

сума температур за цей же відрізок часу становить – 1800^0С;

коефіцієнт використання опадів – 0,8;

коефіцієнт водоспоживання – 4500 мм/т;

ККД = 2,0% ФАР. ФАР = за IV-VII $838 \cdot 10^4$ МДж/га.

1. Потенційну врожайність абсолютно сухої маси розраховуємо з формули (*9.32*).

$$ПУ = \frac{838 \cdot 10^4 \cdot 2{,}0}{100 \cdot 16760} = 10{,}0 \text{ т/га};$$

2. Потенційну врожайність корисної продукції розраховуємо з формули (*9.37*).

$$ПУ = \frac{100 \cdot 10}{(100 - \alpha) \cdot 1{,}4} = 8{,}3 \text{ т/га};$$

3. Дійсно можливу врожайність сухої маси залежно від ресурсів вологи розраховуємо з формули (*9.38*).

$$ДМВ = \frac{100(180 + 0{,}8 \cdot 212)}{4500} = 7{,}9 \text{ т/га};$$

4. Дійсно можливу врожайність корисної продукції з формули (*9.37*).

$$ДМВ_{к.п.} = \frac{100 \cdot 7{,}9}{(100 - 14) \cdot 1{,}4} = 6{,}6 \text{ т/га};$$

5. Втрати врожаю через нестачу води визначаємо з виразу:

$$\Delta Y = ПУ - ДМВ = 8{,}3 - 6{,}6 = 1{,}7 \text{ т/га}.$$

Додаток А

Таблиця А – **Похил Сонця (h_o)**

Дата	Місяць						
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень
1	4,4	15,0	22,0	23,1	18,2	8,4	-3,1
2	7,8	15,3	22,2	23,1	17,9	8,0	-3,5
3	5,2	15,6	22,3	23,0	17,6	7,7	-3,8
4	5,6	15,9	22,4	22,9	17,3	7,3	-4,2
5	6,0	16,2	22,5	22,8	17,1	6,9	-4,6
6	6,3	16,5	22,6	22,7	16,8	6,6	-5,0
7	6,7	16,7	22,7	22,6	16,5	6,2	-5,4
8	7,1	17,0	22,8	22,5	16,2	5,8	-5,8
9	7,5	17,3	22,9	22,4	16,0	5,4	-6,2
10	7,8	17,5	23,0	22,3	15,7	5,0	-6,5
11	8,2	17,8	23,1	22,2	15,4	4,7	-6,9
12	8,6	18,1	23,1	22,0	15,1	4,3	-7,3
13	8,9	18,3	23,2	21,9	14,8	3,9	-7,7
14	9,3	18,6	23,3	21,7	14,5	3,5	-8,0
15	9,7	18,8	23,3	21,6	14,2	3,1	-8,4
16	1,0	19,0	23,3	21,4	13,8	2,8	-8,8
17	10,4	19,3	23,4	21,3	13,5	2,4	-9,1
18	10,7	19,5	23,4	21,1	13,2	2,0	-9,5
19	11,1	19,7	23,4	20,9	12,9	1,6	-9,9
20	11,4	19,9	23,4	20,7	12,6	1,2	-10,2
21	11,8	20,1	23,4	20,5	12,2	0,8	-10,6
22	12,1	20,3	23,4	20,3	11,9	0,4	-11,0
23	12,4	20,5	23,4	20,1	11,6	0,1	-11,3
24	12,8	10,7	23,4	19,9	11,2	-0,3	-11,7
25	13,1	20,9	23,4	19,7	10,9	-0,7	-12,0
26	13,4	21,1	23,4	19,5	10,5	-1,1	-12,3
27	13,7	21,3	23,3	19,3	10,2	-1,5	-12,7
28	14,1	21,4	23,3	19,1	9,8	-1,9	-13,0
29	14,4	21,6	23,3	18,8	9,5	-2,3	-13,4
30	14,7	21,7	23,2	18,6	9,1	-2,7	-13,7
31		21,9		18,4	8,8		-14,0

Таблиця складена за даними астрономічного щорічника 1950 р. Похил Сонця надається для справжнього гринвічського полудня.

Додаток Б

Таблиця Б – **Величини k_1 при різних значеннях Δt і Δu**

Δu	Δt									
	-2,0	-1,9	-1,8	-1,7	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-1,2	-1,1
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0,9	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1,1	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
1,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1,5	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
1,7	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
1,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11
2,1	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
2,3	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	1,15	0,15	0,15
2,5	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17
2,7	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
2,9	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21
3,1	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
3,3	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25
3,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27

Δu	Δt									
	-1,0	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1
0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
0,7	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05
0,9	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07
1,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
1,3	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11
1,5	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13
1,7	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15
1,9	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17
2,1	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19
2,3	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	1,19	0,20	0,21
2,5	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23
2,7	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,26
2,9	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,25	0,26	0,28
3,1	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,30
3,3	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,30	0,32
3,5	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34

Продовження таблиці Б

Δu	Δt									
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,3	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,10	0,12	0,12	0,13
0,5	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13
0,7	0,07	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
0,9	0,09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16
1,1	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
1,3	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20
1,5	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21
1,7	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
1,9	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25
2,1	0,22	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28
2,3	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29
2,5	0,26	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31
2,7	0,28	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34
2,9	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36
3,1	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38
3,3	0,34	0,35	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40
3,5	0,36	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41

Δu	Δt										
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
0,3	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,23
0,5	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19
0,7	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
0,9	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20
1,1	0,18	0,18	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22
1,3	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23
1,5	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25
1,7	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27
1,9	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29
2,1	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,31
2,3	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
2,5	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34
2,7	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36
2,9	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38
3,1	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41
3,3	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
3,5	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44

Додаток В

Таблиця В – **Приклад запису визначення вологості грунту**

Вологість грунту

Поле №4 – чорнозем звичайний Дата – 7 травня Культура – яра пшениця

Стан поля: обробіток добрий Стан культури; кущіння, добрий

№ повторності	Глибина взяття проби, см	№№ баночок	Вага баночки із вологим грунтом, г	Вага баночок після висушування, г		Вага тари, г	Вага випарованої води, г	Вага сухого грунту,г	% вологості	Характеристика грунту у зразку
				першого	контрольного					
1.	5	65	68,20	62,67	62,57	37,86	5,63	24,71	22,8	вологий
	10	188	66,08	61,10	61,09	39,03	4,99	22,06	22,6	
	20	398	60,75	56,62	56,70	40,00	4,13	16,62	24,8	
	30	95	63,10	58,40	58,40	36,71	4,70	21,69	21,6	
	40	139	77,55	70,52	70,47	35,03	7,08	35,44	19,8	
	50	355	74,05	68,60	68,50	39,65	5,55	28,85	19,2	слабко-вологий
	60	388	60,45	57,54	57,49	39,25	2,96	18,24	16,2	
	70	257	75,47	72,10	71,97	40,61	3,50	31,36	11,2	сухий
	80	232	80,47	77,30	77,22	40,90	3,25	36,32	9,0	
	90	208	71,67	68,80	68,72	37,23	2,95	31,49	9,3	
	100	247	81,05	78,03	77,97	40,52	3,08	37,45	8,2	

Д О Д А Т О К Г

```
*****************************************************
c           БАЗОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ
c                 СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР
*****************************************************
      common
w0(15),ts(15),ss(15),dv(15),inf(50),tmax(15)
      common n,t0,n2,n1,fi
      Character*4 a1,a2,a3,a4
      real inf
      integer t0,dv
      kb=1
      open
(unit=5,file='model1.dat',status='old',form='formatte
d')
      Open (UNIT=6,FILE='RESULT1.dat')
      read(5,100)kb
      do 30 i=1,kb
       read(*,116) a1,a2,a3,a4
      read(*,100)n,t0,n1,n2,fi
      read(*,102)(tmax(j),j=1,n)
      read(*,102)(w0(j),j=1,n)
      read(*,102)(ts(j),j=1,n)
      read(*,102)(ss(j),j=1,n)
      read(*,115)(dv(j),j=1,n)
      read(*,101)(inf(j),j=1,28)
      write(*,119)
      WRITE(6,234)
      WRITE(6,236)
  234 FORMAT(10X, ”БАЗОВА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ”)
  236 FORMAT(10X,'” ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЮ ”)
      write(*,119)
      write(6,117)
  117 format(10x,'” ВХІДНА ІНФОРМАЦІЯ ”)
      write(6,118)
      write(*,116) a1,a2,a3,a4
      write(*,100) n,t0,n1,n2,fi
      write(*,102) (tmax(j),j=1,n)
      write(*,102) (w0(j),j=1,n)
      write(*,102) (ts(j),j=1,n)
      write(*,102) (ss(j),j=1,n)
      write(*,115) (dv(j),j=1,n)
  118 format(1x,72('-'))
      write(*,118)
      write(*,101)(inf(j),j=1,28)
```

```
      write(*,119)
  119 format(1x,72('='))
      write(*,120)
  120 format(1x,'" РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ")
      write(*,119)
      call dmpp
  100 format(4i3,f6.2)
  101 format(10f8.3)
  102 format(14f5.1)
  115 format(24i3)
  116 format(4a4)
   30 continue
      stop
      end
      subroutine dmpp
      dimension llm(15),qm(15),ts1m(15),ts2m(15)
      common
w0(15),ts(15),ss(15),dv(15),inf(50),tmax(15)
      dimension
j1m(15),gim(15),flm(15),ksi(15),gamfm(15),blm(15),1
bsm(15),brm(15),bpm(15),aflm(15),arlm(15),tss(150),
ts11(15)
      real ksi,llm
      real*8 ksifl,top,td
      integer t0,dv,gi,g2,gim
      common n,t0,n1,n2,fi
      real m,ml,ms,mr,mp,ll,ls,lp,mu,ksifp,inf,
j0,jj,mz
      drost(ts2,topt,cc)=(2.3026*(2./topt)*10.**(2.-
(2./topt)*ts2)*
* 1000.*cc)/(1.+10.**(2.-(2./topt)*ts2))**2
      ff0l(bk,b,jj)=bk*b*jj/(bk+b*jj)
      j1=1
      gi=0
      ml=inf(1)
      ms=inf(2)
      mr=inf(3)
      mp=inf(4)
      sss=inf(25)
      sss1=inf(26)
      ll=inf(5)
      ts2=0
      j2=0
c     write(*,331)ml,ms,mr,mp
```

```
  331 format(1x,4f7.3)
      write(*,121)
  121 format(' ')
      write(*,122)
  122 format(10x,' “ СУХА БІОМАСА ОРГАНІВ, (г/м2) ”)
      write(*,120)
  109
format(4x,'i''dek',1x,'i','cyt',2x,'i',3x,'ml',3x,
'i',3x,'ms',3x,1'i',3x,'mr',3x,'i',4x,'mp',2x,
'i',3x,'m',4x,'i')
      write(*,109)
  120 format(4x,70('-'))
      write(*,120)
      do 300 j=1,n
        nn=dv(j)
        do 310 i=1,nn
          ts1=ts(j)-inf(27)
          if(ts1.lt.0)ts1=0
          ts2=ts2+ts1
          tss(i+j2)=ts2
  310   continue
        j2=j2+dv(j)
        ts11(j)=ts1
  300 continue
      do 99 j=1,n
        s1=0
        s2=0
        s3=0
        s4=0
        s5=0
        s6=0
        s7=0
        s8=0
        s9=0
        s10=0
        s11=0
        ts1=ts11(j)
        m=ml+ms+mr+mp
        fm=ml+ms
c       write(*,334)m

334   format(1x,f10.2)
        nn=dv(j)
        do 400 i=1,nn
```

```
  444 format(1x,i5,2x,f7.3)
          ts2=tss(gi+1)
c         write(*,444)gi,tss(gi)
          delta=0.017453*(0.473*(t0+gi)-0.196e-
2*(t0+gi)**2-0.407e-5*
     *    (t0+gi)**3-0.616)
          a=sin(0.017453*fi)*sin(delta)
          b=cos(0.017453*fi)*cos(delta)
          tz=12+3.8197*acos(-a/b)
          tv=24-tz
          s1=s1-delta
          s2=s2+a
          s3=s3+b
          s4=s4+tz
          s5=s5+tv
C         write(6,335)tv,delta
  335     format(1x,2f8.2)
          a1=-100.*alog(inf(15))/(inf(8)**2)
          alf=exp(-a1*((ts2-inf(8))/10)**2)
          a1=-100.*alog(inf(16))/(inf(9)**2)
          arl=exp(-a1*((ts2-inf(9))/10)**2)
          dml=drost(ts2,inf(10),inf(21))
          dms=drost(ts2,inf(11),inf(22))
          dmr=drost(ts2,inf(12),inf(23))
          r1=ts2-inf(14)
          if(r1.lt.0) goto 62
          dmp=drost(r1,inf(13)-inf(14),inf(24))
         goto 63
62        dmp=0.0
63       s6=s6+alf
          s7=s7+arl
          s8=s8+dml
          s9=s9+dms
          s10=s10+dmr
          s11=s11+dmp
          gi=gi+1
400     continue
        delta=s1/dv(j)
        a=s2/dv(j)
        b=s3/dv(j)
        tz=s4/dv(j)
        tv=s5/dv(j)
        taud=tz-tv
        afl=s6/dv(j)
```

```
        arl=s7/dv(j)
        dml=s8/dv(j)
        dms=s9/dv(j)
        dmr=s10/dv(j)
        dmp=s11/dv(j)
        dm=dml+dms+dmr+dmp
c       write(6,336)dml,dms,dmp,dmr,dm
  336   format(1x,5f10.3)
        bl=dml/dm
        bs=dms/dm
        br=dmr/dm
        bp=dmp/dm
          if( n2.eq.1 ) goto 1
         if( n2.eq.2 ) goto 2
        if( n2.eq.3 ) goto 3
        nn1=30-n1+1
        if (gi.le.nn1) goto 7
        if (gi.le.nn1+31) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
      goto 9
  1     nn1=31-n1+1
        if (gi.le.nn1) goto 4
        if (gi.le.nn1+30) goto 5
        if (gi.le.nn1+61) goto 6
        if (gi.le.nn1+91) goto 7
        if (gi.le.nn1+122) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
      goto 9
  2     nn1=30-n1+1
        if (gi.le.nn1   ) goto 5
        if (gi.le.nn1+30) goto 6
        if (gi.le.nn1+61) goto 7
        if (gi.le.nn1+92) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
      goto 9
  3     nn1=31-n1+1
        if (gi.le.nn1   ) goto 6
        if (gi.le.nn1+30) goto 7
        if (gi.le.nn1+61) goto 8
        td=0.873*tmax(j)-0.686
      goto 9
  4    td=tmax(j)-3.
      goto 9
  5     td=0.835*tmax(j)-1.365
```

```
      goto 9
  6    td=0.856*tmax(j)-1.008
      goto 9
  7     td=0.891*tmax(j)-1.081
      goto 9
  8     td=0.823*tmax(j)+0.559
  9     q=12.66*ss(j)**1.31+315.0*(a+b)**2.1
        j0=0.5*q/(taud*60)
        top=inf(28)
        w1=w0(j)/inf(7)
        ksifl=((td+10)/32)**(0.11174*(td-top)/10)*
     6        ((36-td)/14)**(0.9041*(td-top)/10)
c       ****uvcvjic
        if( ksifl.gt.1 ) ksifl=1
        if( ksifl.lt.0.1 ) ksifl=0.1
        if(inf(7).le.85)gamf=2.899*exp(-0.9117*w1)-
3.64*exp(-2.73*w1)
        if(inf(7).gt.85)gamf=4.200*exp(-0.703*w1)-
5.48*exp(-1.648*w1)
        if( gamf.gt.1 ) gamf=1
        if( gamf.lt.0.1 ) gamf=0.1
        jj=j0/(1.+0.5*ll)
        f0l=ff0l(sss,sss1,jj)
        ftl=afl*f0l*ksifl*gamf
        fl=0.68*ftl*ll*taud*0.1
        dmm=fl-arl*(0.015*m+0.20*fl)
        v1=0.3*ml*ts1/(tss(j2)-2.*inf(10))
        v2=0.3*ms*ts1/(tss(j2)-2.*inf(11))
        v3=0.3*mr*ts1/(tss(j2)-2.*inf(12))
      if(ts2.lt.2*inf(10)) v1=0
      if(ts2.lt.2*inf(11)) v2=0
      if(ts2.lt.2*inf(12)) v3=0
      ml=ml+(bl*dmm-v1)*dv(j)
      ms=ms+(bs*dmm-v2)*dv(j)
      mr=mr+(br*dmm-v3)*dv(j)
      mp=mp+(bp*dmm+v1+v2+v3)*dv(j)
c     write(6,337)ml,ms,mp,mr
  337 format(1x,4f10.3)
      if((bl*dmm-v1)*dv(j).ge.0) ll=ll+(bl*dmm-
v1)*dv(j)/inf(20)
      if((bl*dmm-v1)*dv(j).lt.0) ll=ll+(bl*dmm-
v1)*dv(j)/(inf(20)*0.3)
      if(ll.lt.0) ll=0.001
      j1m(j)=j
```

```
      gim(j)=gi
      flm(j)=fl
      ksi(j)=ksifl
      gamfm(j)=gamf
      blm(j)=bl
      bsm(j)=bs
      brm(j)=br
      bpm(j)=bp
      aflm(j)=afl
      arlm(j)=arl
      llm(j)=ll
      qm(j)=q
      ts1m(j)=ts1
      ts2m(j)=ts2
      write(*,139)j,gi,ml,ms,mr,mp,m
  139
format(4x,'i',i5,'i',i3,2x,'i',f7.3,1x,'i',1x,f7.3,'i
',1x,f7.3,
     1'i',f8.3,'i',f8.3,'i')
      j1=j1+1
  99  continue
      write(*,120)
      j1=j-1
      write(*,121)
      write(*,170)
 170  format(10x,'Площа листя, радіація, суми т-р
функції впливу')
      write(*,140)
      write(*,143)
 143
format(4x,'i','dek',1x,'i','cyt',2x,'i',2x,'LL',1x,'i
',3x,'q',4x,

1'i',2x,'ts1',2x,'i',3x,'ts2',2x,'i',2x,'fl',2x,'i',1
x,'ksifl',1x
     1,'i',' gamf ','i')
      write(*,140)
      do 154 ji=1,j1

write(6,151)j1m(ji),gim(ji),llm(ji),qm(ji),ts1m(ji),t
s2m(ji)
     1,flm(ji),ksi(ji),gamfm(ji)
  154 continue
 151  format(4x,'i',i3,1x,'i',1x,i3,1x,'i',f5.2,
```

```
1'i',f8.3,'i',f7.3,'i',f8.3,'i',f6.3,'i',f7.3,'i',1x,
f5.2,'i')
      write(*,121)
      write(*,140)
      write(*,153)
  153 format(15x,'Ростові функції, онтоген.крива
фотосинт. І дихання')
      write(*,140)
      write(*,149)
      write(*,140)
 149  format(4x,'i','DEK',1x,'i',1x,
'CYT',1x,'i',3x,'bl',3x,'i',13x,'bs',3x,'i',3x,'br',
3x,'i',3x,'bp',3x,'i',2x,'afl',2x,'i',3x,
1'arl',3x,'i')
      do 141 i5=1,j1
      write(6,150)j1m(i5),gim(i5),blm(i5),
     1 bsm(i5),brm(i5),bpm(i5),aflm(i5),arlm(i5)
 141   continue
      write(*,140)
 150  format(4x,'i',i3,1x,'i',1x,i3,1x,'i',2x,

1f5.3,1x,'i',2x,f5.3,1x,'i',2x,f5.3,1x,'i',2x,f5.3,
1x,'i',11x,f5.3,1x,'i',1x,f5.3,3x,'i')
 140   format(4x,67('-'))
C     CLOSE (UNIT=6)
      return
      end
```

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги. – М.: Наука, 1964. – 242с.
2. Тооминг Х. Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 200с.
3. Чирков Ю. И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 251с.
4. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Энерго- и массообмен в системе растение – почва – воздух. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 357с.
5. Тооминг Х. Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 264с.
6. Чирков Ю. И. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 293с.
7. Будыко М. И. Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 472с.
8. Гойса Н.И., Олейник Р.Н., Рогаченко А.Д. Гидрометеорологический режим и продуктивность орошаемой кукурузы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 230с.
9. Ничипорович А.А., Строганова Л.Е., Чмора С.Н., Власова М.П. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 135с.
10. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 318с.
11. Наставление гидрометстанциям и постам. Вып. 11. Ч.1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 317с.
12. Серякова Л.П. Агрометеорология. – Учебное пособие. Ленинградский ордена Ленина Политехнический институт им. М.И. Калинина, 1978. – 158с.
13. Алпатьев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 322с.
14. Белобородова Г.Г. Агрометеорологические основы повышения продуктивности плодоводства. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 164с.
15. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 288с.
16. Бондаренко Н.Ф. Физические основы мелиораций почв. – Л.: Колос, 1975. – 257с.
17. Константинов А.Р., Астахова Н.И., Левенко А.А. Методы расчета испарения с сельскохозяйственных полей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 126с.
18. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 372с.

19. Дубов А.С., Быков Л.П., Марунич С.В. Турбулентность в растительном покрове. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 180с.
20. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 175с.
21. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений. – Киев: Наукова Думка, 1982. – 310с.
22. Франс Дж., Торнли Дж. Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 309с.
23. Куперман Ф.М., Ржанова Е.И. Биология развития растений. – М.: Высшая школа, 1963. – 423с.
24. Федосеев А.П. Погода и эффективность удобрений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 144с.
25. Коровин А.И. Роль температуры в минеральном питании растений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 281с.
26. Коровин А.И. Растения и экстремальные температуры. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 271с.
27. Куперман Ф.М., Чирков Ю.И. Биологический контроль за развитием растений на метеорологических станциях. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 144с.
28. Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 119с.
29. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 200с.
30. Константинов А.Р., Струзер Л.Р. Лесные полосы и урожай. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 212с.
31. Константинов А.Р., Зоидзе Е.К., Смирнов С.И. Погода, почвы и урожай озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 263с.
32. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: Издательство МГУ, 1986. – 244с.
33. Галямин Е.П. Оптимизация оперативного распределения водных ресурсов в орошении. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 272с.
34. Кулик М.С. Погода и минеральные удобрения. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 138с.
35. Берлянд М.Е., Красиков П.Н. Борьба с заморозками и их предсказание. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 147с.
36. Венцкевич Г.З. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 376с.
37. Личикаки В.М. Перезимовка озимых культур, – М.: Колос, 1974. – 205с.
38. Мойсейчик В.А. Агрометеорологические условия и перезимовка озимых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 295с.

39. Винтер А.К. Заморозки и их последействия на растения. – Новосибирск: Наука, 1981. – 150с.
40. Генкель П.А., Кушниренко С.В. Холодостойкость растений и термические способы ее повышения. – М.: Наука, 1966. – 222с.
41. Уланова Е.С. Методы агрометеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1959. – 280с.
42. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 302с.
43. Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов. Т. 1 и 2 . – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.
44. Методы проектирования водного режима осушаемых земель в Нечерноземной зоне / Под ред. С.И. Харченко, А.И. Климко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 75с.
45. Гудзон Н. Охрана почвы и борьба с эрозией. – М.: Колос, 1974. – 304с.
46. Дьяченко А.Е., Брысова Л.П., Голубев И.Ф., Чечаев А.Е. Агролесомелиорация. – М.: Колос, 1979. – 205с.
47. Зайдельман Ф.Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. – М.: Колос, 1975. – 319с.
48. Зайдельман Ф.Р. Гидрологический режим почв Нечерноземной зоны. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 280с.
49. Литвинов И.В. Формирование и преобразование атмосферных осадков на подстилающей поверхности. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 231с.
50. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 663с.
51. Физика почвенных вод. – М.: Наука, 1981. – 208с.
52. Федосеев А.П. Агротехника и погода. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 239с.
53. Вольвач В.В. Моделирование влияния агрометеорологических условий на развитие колорадского жука. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 239с.
54. Макарова Л.А., Доронина Г.М. Агрометеорологическое обоснование оптимизации и защиты зерновых культур от вредной черепашки. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 144с.
55. Макарова Л.А., Минкевич И.И. Погода и болезни культурных растений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 142с.
56. Макарова Л.А., Доронина Г.М. Агрометеорологические предикторы прогноза размножения вредителей сельскохозяйственных – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 212с.
57. Пасечнюк Л.Е., Сенников В.А. Агроклиматическая оценка суховеев и продуктивность яровой пшеницы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 128с.

58. Пасов В.М. изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 152с.
59. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 223с.
60. Зоидзе Е.К. Погода, климат и эффективность труда в земледелии. -Л: Гидрометеоиздат, 1987. – 224с.
61. Дмитренко В.П. Метод расчета урожайности озимой пшеницы на территории УССР. – Труды УкрНИГМИ, 1975, вып. 139.
62. Саноян М.Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влабообеспеченностью посева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 296с.
63. Горбачев В.А. Математическое моделирование водно-теплового режима корнеобитаемого слоя почвы. – Обзорная информация ВНИИГМИ – МЦД. Серия «Гидрология суши», 1982, вып. 1. – 47с.
64. Горбачев В.А. Математическое моделирование углекислотного режима сельскохозяйственных посевов. – Обзорная информация ВНИИГМИ – МЦД. Серия «Метеорология», 1983, вып. 1. – 44с.
65. Полуэктов Р.А., Пых Ю.А., Швытов И.А. Динамические модели экологических систем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 169с.
66. Строганова М.А. Математическое моделирование формирования качества урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 151с.
67. Моделирование продуктивности агроэкосистем // Н.Ф. Бондаренко, Е.Е. Жуковский, И.Г. Мушкин, С.В. Нерпин, Р.А. Полуэктов, И.Б. Усков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 320с.
68. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистемы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 167с.
69. Гильманов Т.Г. Математическое моделирование биогеохимических циклов в травяных экосистемах. – М.: изд. МГУ, 1978. – 167с.
70. Зубенок Л.И. Испарение на континентах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 263с.
71. Полевой А.Н. Агрометеорологические условия и продуктивность картофеля в Нечерноземье. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 117с.
72. Разумова Л.О., Мещанинова Н.Б. Составление агрометеорологических расчетов и прогнозов оптимальных сроков и норм полива кукурузы. Методические указания. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 132с.
73. Шатилов И.С., Чудновский А.Ф. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 318с.

74. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. VII. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 304с.
75. Платонов В.А., Чудновский А.Ф. Моделирование агрометеорологических условий и оптимизация агротехники. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 279с.
76. Бихеле И.Г., Молдау Х.А, Росс Ю.К. Субмодель распределения ассимилятов и роста растений при водном дефиците. – Тарту, 1980. – 23с.
77. Вопросы агрометеорологии (сборник кратких сообщений под редакцией Ф.Ф. Давитая, М.С. Кулика). – М.: Гидрометеоиздат (отделение), 1958. – 90с.
78. Грингоф И.Г. Пасбищные растения Кызылкума и погода. – Труды САНИГМИ, 1967, вып. 34 (49).
79. Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.Н. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 310с.
80. Давид Р.Э. Сельскохозяйственная метеорология. – М.: Сельхозгиз, 1936. – 406с.
81. Ефимов М.В. Физиология растений в криоаридном климате. – Новосибирск: Наука. 1988. – 160с.
82. Ефимова Н.А. Радиационные факторы продуктивности растительного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 215с.
83. Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай /Под ред. А.И. Руденко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 206с.
84. Зоидзе Е.К. Погода, климат и эффективность труда в земледелии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 224с.
85. Клещенко А.Д. Оценка состояния зерновых культур с применением дистационных методов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 190с.
86. Колпаков В.В., Сухарев И.П. Сельскохозяйственные мелиорации. – М.: Колос, 1981. – 327с.
87. Константинов Л.К. защита сада от резких колебаний температуры и замарозков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 112с.
88. Кондратьев К.Я., Федченко П.П. Спектральная отражательная способность и распознавание растительности. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 215с.
89. Культиасов И.М. Экология растений. – М.: изд. МГУ, 1982. – 381с.
90. Курсанов А.Л. Транспорт ассимилятов в растении. – М.: Наука, 1976. – 646с.
91. Куртенер Д.А., Чудновский А.Ф. Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 230с.
92. Куртнер Д.А., Усков И.В. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 230с.

93. Куртенер Д.А., Усков И.Б. Управление микроклиматом сельскохозяйственных полей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 263с.
94. Лархер В. Экология растений. – М.: Мир, 1978. – 384с.
95. Лекции по сельскохозяйственной метеорологии /Под ред. М.С. Кулика и В.В. Синельщикова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 340с.
96. Максимов Н.А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. Том 1. – М.: Изд-во Ан СССР, 1952. – 575с.
97. Мельник Ю.С. Климат и произрастание подсолнечника. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 143с.
98. Мичурин Б.Н. Энергетика почвенной влаги. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 139с.
99. Мищенко З.А. Биоклимат дня и ночи. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 279с.
100. Муминов Ф.А. Тепловой баланс и метеорологический режим картофельного поля. – Л.: Гидрометеоиздат, 1963. – 150с.
101. Най П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва – растение. – М.: Колос, 1980. – 366с.
102. Одум Ю. Экология Т.1. – М.: Мир, 1986. – 328с.
103. Одум Ю. Экология Т.2. – М.: Мир, 1986. – 376с.
104. Палагин Э.Г. Математическое моделирование агрометеорологических условий перезимовки озимых культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 190с.
105. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. VII. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 160с.
106. Просвиркина А.Г. Агрометеорологические условия и продуктивность проса. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 160с.
107. Раунер Ю.Л. Тепловой баланс растительного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 209с.
108. Рачкулик В.И., Ситникова М.В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 287с.
109. Свисюк И.В. Погода и урожайность озимой пшеницы на Северном Кавказе и в Нижнем Поволжье. – Л.: Гидрометеоиздат, 1980. – 207с.
110. Свисюк И.В. Погода, интенсивная технология и урожай озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 226с.
111. Страшная А.И. Агрометеорологические условия перезимовки и формирования урожая семян многолетних сеяных трав на Европейской части СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 156с.
112. Суховеи, их происхождение и борьба с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 367с.
113. Устойчивость зерновых культур к факторам среды /Под ред. В.С. Шевелухи. – Минск: Ураджай, 1978. – 191с.
114. Физика почвенных вод. – М.: Наука, 1981. – 208с.

115. Физика среды обитания растений /Под ред. А.М. Глобуса. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 303с.
116. Хэнкс Р. Дж., Ашкрофт Дж. Л. Прикладная физика почв. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 150с.
117. Цубербиллер Е.А. Суховеи, их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними. М.: Колос, 1966. – 110с.
118. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 340с.
119. Шульгин И.А. Растение и солнце. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 251с.

ЗМІСТ

стор.
1 Радіаційний режим рослинного покриву.....3
1.1 Пропускання сонячної радіації рослинним покривом 4
1.1.1 Розрахунок *Q* за тривалістю сонячного сяйва..... 6
1.1.2 Розрахунок *Q* за даними спостережень за хмарністю 7
1.1.3 Розрахунок фотосинтетично активної радіації на верхній межі посіву..... 8
1.1.4 Розрахунок інтенсивності ФАР в посіві 9
1.2 Визначення площі листя..... 11
1.3 Визначення маси та густоти стеблестою сільськогосподарських культур 15
1.3.1 Вибір майданчиків спостереження..... 17
1.3.2 Обробка результатів вимірювання 17
1.3.3 Алгоритми побудови та використання градуювальних характеристик фотометра..... 20
2 Тепловий баланс рослинного покриву.....27
2.1 Турбулентний потік теплоти *P*(*l*) і витрат тепла на випарування *LE*(*l*) 28
2.2 Теплообмін у грунті 30
2.3 Температура повітря в рослинному покриві 33
2.4 Турбулентний режим у рослинному покриві 45
3 Водний режим системи грунт-рослина.....54
3.1 Пересування вологи в грунті. Визначення водного потенціалу 55
3.2 Визначення запасів продуктивної вологи..... 61
3.2.1 Інструментальний метод визначення вологості грунту 61
3.2.2 Розрахунок залежності грунтової вологи від основних метеорологічних факторів і міри зволоження грунту..... 64
3.2.3 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під картоплею 70
3.2.4 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під кукурудзою 75
3.3 Розрахунок найменшої вологоємномті грунту 81
3.4 Розрахунок зрошувальних та поливних норм..... 82
3.4.1 Розрахунок зрошувальних норм та поливного режиму 86
3.5 Методи розрахунку сумарного випарування 92
3.5.1 Визначення випарування з незрошуваних сільськогосподарських полів..... 92
3.5.2 Метод водного балансу 105
3.5.3 Метод випарників..... 105
3.5.4 Комплексні методи визначення випарування 108
3.5.5 Визначення випарування із зрошуваних сільскогосподарських угідь 113

3.6 Визначення вологопотреби та вологозабезпеченості сільськогосподарських культур 126
4 Агрометеорологічні умови та найважливіші процеси у життєдіяльності рослин 136
4.1 Систематизація та узагальнення агрометеорологічної інформації .. 137
4.2 Обробка спостережень за фазами розвитку сільськогосподарських культур 141
4.2.1 Основи спостережень за фазами розвитку сільськогосподарських культур 141
4.2.2 Визначення середніх та екстремальних значень дат настання фаз розвитку 142
4.2.3 Розрахунок тривалості міжфазних періодів 143
4.2.4 Розрахунок сум температур та опадів за міжфазний період 143
4.2.5 Розрахунок середньої температури повітря за міжфазний період та залежності тривалості періоду від середньої температури 145
4.3 Визначення дат стійкого переходу температури повітря через різні пороги і підрахунок сум активних і ефективних температур 149
4.3.1 Визначення дат стійкого переходу через різні пороги 149
4.3.2 Визначення сум температур 155
4.4 Визначення температурних показників швидкості та біологічного мінімуму розвитку сільськогосподарських культур 159
4.5 Розрахунок теплозабезпеченості вегетаційного періоду 168
4.5.1 Прогноз забезпеченості теплом вегетаційного періоду 168
4.5.2 Прогноз забезпеченості теплом другої половини вегетаційного періоду 171
4.5.3 Прогноз тривалості вегетаційного періоду 172
5 Агрометеорологічні умови та мінеральне живлення рослин 175
5.1 Агрометеорологічні аспекти ефективності мінеральних добрив 175
5.2 Агрометеорологічні умови та оптимізація строків і доз підживлення зернових культур 184
5.2.1 Весняне підживлення озимих культур та погода 184
5.2.2 Строки весняного підживлення азотом озимих культур 185
5.2.3 Визначення оптимальних доз азотних добрив для весняного підживлення в залежності від опадів 186
5.2.4 Врахування агрометеорологічних умов при визначенні літнього азотного підживлення зернових культур 187
5.2.5 Ефективність літнього підживлення в залежності від умов погоди 189
5.2.6 Складання рекомендацій щодо проведення літнього підживлення азотом 190

6 Агрометеорологічні умови та фотосинтетична продуктивність сільськогосподарськихкультур.....192
6.1 Фотосинтетична продуктивність посівів сільськогосподарських культур 192
6.2 Рівняння росту і розподілу асимілятів 195
7 Вплив несприятливих умов на життєдіяльність сільськогосподарських рослин.....207
7.1 Агрометеорологічна характеристика посух і суховіїв 207
7.2 Розрахунок показників перезволоження.....215
7.3 Агрометеорологічна оцінка приморозків 218
7.4 Агрометеорологічний аналіз умов і оцінка перезимівлі озимих посівів 227
7.4.1 Агрометеорологічні умови вегетації озимих культур восени ...227
7.4.2 Агрометеорологічний аналіз умов вимерзання озимих культур 228
7.4 3 Визначення критичної температури вимерзання.....228
7.5 Оцінка полягання посівів 244
7.5.1 Прогноз полягання зернових хлібів 246
8 Агрометеорологічні умови і продуктивність сільськогосподарських культур.....267
8.1 Оцінка часової мінливості врожаїв сільськогосподарських культур 267
8.2 Оцінка агрометеорологічних умов вирощування зернових культур в окремому районі 274
8.2.1 Розрахунок щорічного статистичного максимуму врожайності 274
8.2.2 Метод оцінки гідрометеорологічних умов формування врожаю зернових культур 279
8.2.3 Загальна оцінка продуктивності та умов вегетації сільськогосподарських культур 286
8.2.4 Оцінка недобору врожаю польових культур.....288
8.3 Оцінка агрометеорологічних умов вирощування кукурудзи 290
8.3.1 Оцінка агрометеорологічних умов розвитку кукурудзи у період від посіву до сходів.....290
8.3.2 Оцінка агрометеорологічних умов розвитку кукурудзи в період від появи сходів до викидання волоті.....296
8.3.3 Оцінка агрометеорологічних умов формування елементів продуктивності початків кукурудзи 301
8.4 Кількісна оцінка впливу посушливих явищ на врожайність ярої пшениці 304

8.5 Оцінка агрометеорологічних умов формування врожаю сільськогосподарських культур за допомогою математичної моделі 314
8.5.1 Методика складання середнього по області врожаю сільськогосподарських культур 317
8.5.2 Динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур 317
8.5.3 Методи визначення параметрів моделей сільськогосподарських культур стосовно конкретних грунтово-кліматичних зон 322
9 Погода і агротехніка 337
9.1 Агрометеорологічне обгрунтування термінів сівби сільськогосподарських культур 337
9.1.1 Визначення термінів сівби ранніх ярих культур 338
9.1.2 Визначення термінів сівби пізніх ярих культур 344
9.2 Оцінка та прогноз агрометеорологічних умов періоду збирання зернових культур 351
9.2.1 Прогноз термінів дозрівання хлібів 351
9.2.2 Вплив агрометеорологічних умов на вологість зерна і соломи та на проростання зерна у валках 355
9.2.3 Оцінка агрометеорологічних умов роботи комбайна 357
9.2.4 Розрахунок кількості втрат зерна за збирання в несприятливих агрометеорологічних умовах 361
9.2.5 Розрахунок середніх втрат врожаю по області 362
9.3 Оцінка агрометеорологічних умов в період збирання врожаю картоплі 368
9.4 Програмування врожаїв сільськогосподарських культур 371

Додаток А. Похил Сонця (h_o) 378
Додаток Б. Величини k_1 при різних значеннях Δt і Δu 379
Додаток В. Приклад запису визначення вологості грунту 381
Додаток Г. Базова динамічна модель формування врожаю сільськогосподарських культур 389
Список літератури 391

Навчальний посібник

ПОЛЬОВИЙ АНАТОЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ,
БОЖКО ЛЮДМИЛА ЮХИМІВНА,
СИТОВ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ,
ЯРМОЛЬСЬКА ОЛЕНА ЄВГЕНІВНА

ПРАКТИКУМ З СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МЕТЕОРОЛОГІЇ

Підп. до друку Формат Папір офісний
Умовн. друк. арк. Тираж Зам. №
Надруковано з готових оригіналів-макетів

Одеський гідрометеорологічний інститут,
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

Підприємство "Евротойз", тел. 499-678