

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агротехнологій  
Кафедра землеробства, геодезії та землеустрою

**ПРОГНОЗ І ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЇВ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

**Методичні рекомендації**  
для виконання практичних робіт здобувачами  
третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти ОПП «Агрономія»  
спеціальності 201 Агрономія  
денної форми здобуття вищої освіти

**МИКОЛАЇВ**

**2023**

УДК 631.53.04-047.72

П78

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 01.09.2023 р., протокол № 2.

Укладач

- В. В. Гамаюнова – д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри землеробства, геодезії та землеустрою Миколаївський національний аграрний університет;
- І. В. Смірнова – доцент кафедри землеробства, геодезії та землеустрою Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

- О. М. Дробітько – канд. с.-г. наук, директор ФГ «Олена» Вознесенського району Миколаївської області;
- О. А. Коваленко – канд. с.-г. наук, доцент, завідувач кафедри рослинництва та садово-паркового господарства, Миколаївський національний аграрний університет.

© Миколаївський національний аграрний університет, 2023

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	3
<b>Практичне заняття №1.</b> Вивчення методів пошуку оптимальних рішень для програмування врожаю.....	6
<b>Практичне заняття №2.</b> Вивчити застосування лінійного програмування під час програмування врожаю.....	11
<b>Практичне заняття №3.</b> Програмування потенційного врожаю	20
<b>Практичне заняття №4.</b> Визначення кліматичних ресурсів та розробка моделей клімату, рівнів потенційної врожайності.....	23
<b>Практичне заняття №5.</b> Вивчити методи розрахунку фотосинтетичного потенціалу посівів.....	32
<b>Практичне заняття №6.</b> Вивчити і розрахувати норми добрив під запрограмований урожай.....	37
<b>Практичне заняття №7.</b> Визначити вологість ґрунту та запаси води в ньому, а також баланс вологи.....	46
<b>Додатки</b> .....	50
<b>Список рекомендованої літератури</b> .....	61

## ВСТУП

**Об'єктом** «Прогнозу та програмування врожаїв сільськогосподарських культур» – є створення моделі отримання врожаю з максимально можливим урахуванням чинників, які його визначають: кліматичних умов, родючості ґрунту, технології вирощування, біологічних особливостей виду (сорту, гібриду).

Програмування врожаїв направлене на впорядковану організацію агрофітоценозу як системи для досягнення максимальної його продуктивності.

**Завдання** викладання дисципліни “Прогноз і програмування врожаїв сільськогосподарських культур” полягає в тому, щоб формувати у здобувачів вищої освіти міцні знання та уміння з управління продукційним процесом створення заданої врожайності на основі абстрактного моделювання фізичної суті чи функціональних залежностей росту та розвитку рослин.

Прогноз і програмування врожаїв сільськогосподарських культур має за **мету** – теоретично реалізувати максимальне акумулювання сонячної енергії, найбільш повне використання ґрунтово-кліматичних ресурсів, генетичного потенціалу районованих сортів, матеріальних і трудових ресурсів, одержання економічно доцільних рівнів урожаїв і гарантованих валових зборів продукції рослинництва на промисловій основі.

Дисципліна “Прогноз і програмування врожаю сільськогосподарських культур” є інтегральною дисципліною, яка стисло, структуризовано, в математичній формі узагальнює наукову інформацію, отриману з таких дисциплін як; «Фізіологія рослин», “Ґрунтознавство з основами геології”, Агрохімія”, Агрометеорологія”, “Рослинництво”, “Кормовиробництво”, “Інформатика і обчислювальна техніка” і використовує її для управління продукційним процесом формування врожаю. Знання, одержані при вивченні дисципліни “Прогноз і програмування врожаїв”, широко використовуються при опануванні наступних дисциплін: “Біотехнологія в рослинництві”, “Буряківництво”, “Математичне моделювання” та ін.

Результатом вивчення дисципліни «Прогноз і програмування врожаю сільськогосподарських культур» є сформовані у здобувачів вищої освіти знання та уміння.

**Здобувач вищої освіти повинен знати:**

- суть, принципи та етапи програмування врожаїв сільськогосподарських культур, як науки про управління продукційними процесами агрофітоценозу;

- показники, що характеризують стан, структуру і властивості засобів та прийомів виробництва рослинної продукції і є необхідними для створення інформаційно-логічних моделей, - базисної основи управління процесом формування врожаїв;

- закономірності та взаємозалежності процесів, що проходять в системі: “ґрунт – рослина - клімат – господарські ресурси” і можуть бути враховані при розробленні кількісних моделей – інструментів управління формування заданої врожайності;

- рівні врожаю та чинники за якими їх визначають;

- особливості програмування врожаю за умов штучного зрошення та осушення;

- скласти баланс вологи та за умов зрошення, розробити систему повного забезпечення посівів вологою;

- програмне забезпечення прогнозування і програмування врожаю сільськогосподарських культур;

- існуючі моделі та програми в галузі науки і виробництва рослинницької продукції.

**Здобувач вищої освіти повинен уміти:**

- розрахувати для конкретної території потенційну врожайність (ПУ) за надходженням ФАР і проаналізувати потенційні можливості сортів;

- визначити потенційні можливості кліматичних умов і провести розрахунок урожайності за ресурсами вологи і тепла;

- виявити з урахуванням культури лімітуючі фактори врожаю;

- визначити на основі оптимального використання природних та господарських ресурсів прогнозовану врожайність;

- розрахувати фотосинтетичний потенціал, який забезпечує одержання запланованого врожаю;

- розрахувати для конкретного поля норми мінеральних добрив під запрограмований урожай культур сівозміни з урахуванням агрохімічних показників ґрунту, кліматичних умов місцевості, біологічних особливостей культури (сорт, гібрид). Використання поживних речовин з ґрунту і внесених добрив;

- розробити: а) систему агротехнічних заходів з вирощування культури; б) систему заходів із захисту рослин від хвороб, шкідників та бур'янів;

- застосовуючи математичні методи в програмуванні врожаїв:

а) використовувати прогностичні, оперативні та коригувальні програми програмованого вирощування сільськогосподарських культур;

б) корелятивні взаємозв'язки та взаємозалежності;

в) графічні і графоаналітичні методи пошуку оптимальних рішень;

г) лінійне програмування, метод Монте-Карло, рендомізатор;

д) метод оптимального програмування врожаїв, запропонований І.С. Шатиловим;

е) економіко-математичне програмування;

є) використання комп'ютера для визначення оптимального комплексу, що забезпечує одержання запланованої урожайності.

# ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

## Вивчення методів пошуку оптимальних рішень для програмування врожаю

**Мета роботи:** навчитись застосовувати графічні та графоаналітичні методи при програмування врожаїв, а також кореляційних взаємозалежностей.

**Завдання:** розрахувати графічним методом вплив внесених органічних та мінеральних добрив на урожай використовуючи кореляційні методи в програмуванні врожаїв.

**Матеріали та обладнання:** розрахункові програми *Exel, Word*.

### Теоретична частина

Програмування врожаїв сільськогосподарських культур охоплює складні багатофакторні явища і процеси, в основі аналізу яких лежать різні математичні методи. Тільки при наявності останніх можуть бути створені свої особливі алгоритми і відповідні їм машинні програми, які дозволяють автоматично знаходити оптимальні рішення – вибір потрібних агротехнічних прийомів при вирощуванні сільськогосподарських культур. Разом з тим, практичне застосування методу спеціального програмування пов'язане з використанням відповідної обчислювальної техніки, без чого програмування врожаїв сільськогосподарських культур не може бути доступне аналізу і практичному використанню.

### Хід роботи

#### Графічні та графоаналітичні методи пошуку оптимальних рішень при програмуванні врожаїв

Всі біологічні процеси мають дві основні характеристики:

швидкість протікання ( $\frac{dy}{dx}$ );

прискорення ( $\frac{d^2y}{dx^2}$ ).

Дані властивості біологічних процесів можна представити у вигляді графіків, які будуть розподілятися згідно швидкості на класи:

1-й клас – монотонно-зростаючі криві ( $\frac{dy}{dx} \geq 0$ );

2-й клас – монотонно убуючі криві ( $\frac{dy}{dx} \leq 0$ );

3-й клас – немонотонні криві ( $\frac{dy}{dx}$  різного знаку).

В свою чергу прискорення процесу криві 1-го і 2-го класів можна розділити на підкласи:

1-й підклас – вигнуті криві ( $\frac{d^2y}{dx^2} \geq 0$ ) – процес прискорюється;

2-й підклас – випуклі криві ( $\frac{d^2y}{dx^2} \leq 0$ ) – процес уповільнюється;

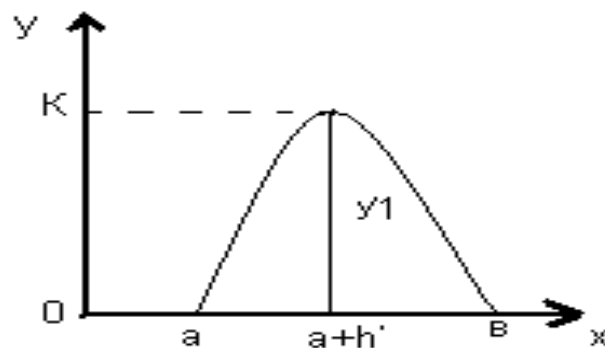
3-й підклас – криві з перегином ( $\frac{d^2y}{dx^2}$  різного знаку) – процес перемінно прискорюється і уповільнюється.

Згідно прискорення до третього класу відносяться криві, що мають максимум ( $\frac{d^2y}{dx^2} > 0$ ) і криві, що мають мінімум ( $\frac{d^2y}{dx^2} < 0$ ).

Побудувавши графічну модель процесу, дуже зручно, визначивши рівняння кривої, знайти найкращі оптимальні показники, чи розрахункові дані.

Також по вісям координат в певному масштабі можна відкласти взаємозалежні чи відносні величини, що може дати наглядне уявлення про взаємозалежність величин і їх екстремальне значення.

Нехай, наприклад, отримані експериментальні дані при графічному розгляді дають криву  $y = f(x)$  (рис.1.1).



**Рис. 1.1. Експериментальні дані при графічному розгляді**

Для даної кривої потрібно шукати рівняння параболи, вісь якої паралельна осі  $Y$ .

Проведемо через вершину ординату  $Y_1$ , що відповідає абсцисі  $a+h$ . В загальному випадку можна розглядати окремі ділянки кривої, що лежать на ділянці:

$$a \leq x \leq a+2h.$$

В цьому випадку інтервал по осі абсцис від  $a$  до  $B$  розбивається на  $n$  ділянок, кожен довжиною  $h_j$ , так, що точка абсциси буде сумою:

$$B = a + nh.$$



Якщо дослідна чи розрахункова крива дуже близько апроксимується параболою на всій її протяжності, як це показано на малюнку, то абсцису точки „в” можна приймати рівною:

$$v = a + 2h.$$

Позначимо ординати, що відповідають  $a, a+h, a+2h$  через точку  $y_0, y_1, y_2$ , будуть мати вигляд:

$$y = y_1 + a[x-(a+h)] + v[x-(a+h)]^2.$$

Тепер можна визначити постійні  $a$  і  $v$  так, щоб шукана парабола проходила також через точки  $(a, y_0)$  і  $(a + 2h, y_2)$ . Ця умова дає:

$$a = \frac{y_2 - y_0}{2h}; v = \frac{y_2 + y_0 - 2y_1}{2h^2}.$$

У розглянутому прикладі:

$$a = 0; v = -\frac{y_1}{h^2} \text{ і звідси: } y = k + 0 - \frac{k}{h^2}x^2 + 2(a+h)x\frac{k}{h^2} - (a+h)^2$$

Позначивши числові коефіцієнти:

$$\frac{K}{h^2} = a, \frac{2K}{h^2}(a+h) = v', c' = k - (a+h)^2.$$

ми отримаємо:  $y = -a'x^2 + v'x - c'$ .

Що і є знайдене рівняння даної параболи.

При складанні формул велику роль грає знання основних властивостей функцій: непереривність, періодичність і інше, так як одна і та ж функція при різних параметрах може зображуватися зовсім іншими графіками. Відомо, наприклад, що функція  $y = xp$  при  $p > 0$  дає різні параболи, а при  $p < 0$  – гіперболи.

Найпростіший спосіб знаходження рівняння кривої – використання ЕОМ.

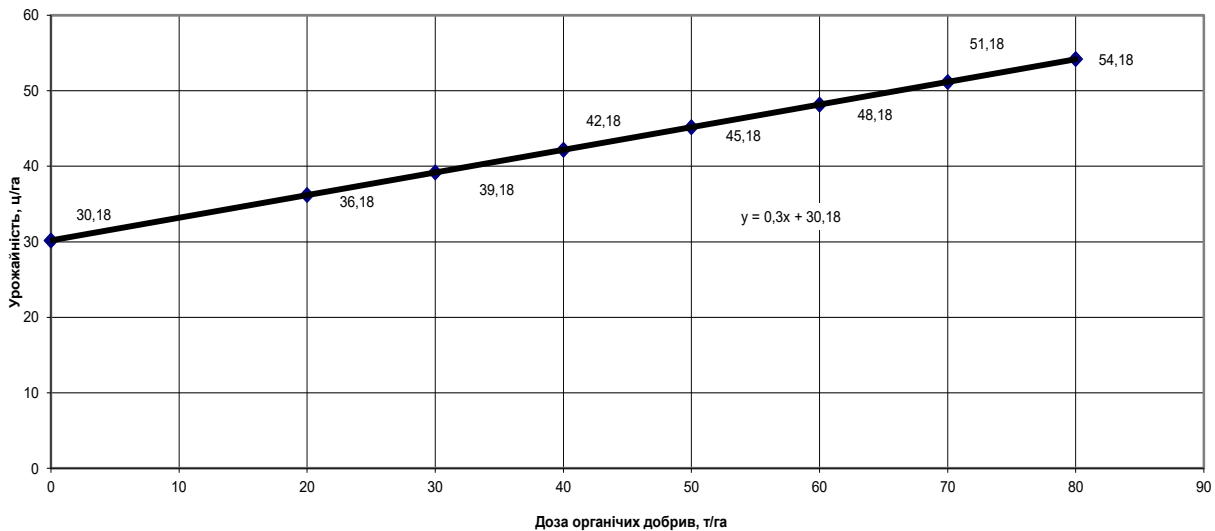
Приклад: досліджується вплив внесених органічних добрив на урожай озимої пшениці.

В результаті дослідів по варіантам були отримані такі дані:

1. Доза органічних добрив 0 т/га	урожайність 30,8 ц/га.
2. Доза органічних добрив 20 т/га	урожайність 36,18 ц/га.
3. Доза органічних обрив 30 т/га	урожайність 39,18 ц/га.
4. Доза органічних добрив 40 т/га	урожайність 42,18 ц/га.
5. Доза органічних добрив 50 т/га	урожайність 45,18 ц/га.
6. Доза органічних добрив 60 т/га	урожайність 48,18 ц/га.
7. Доза органічних добрив 70 т/га	урожайність 51,18 ц/га.
8. Доза органічних добрив 80 т/га	урожайність 54,18 ц/га.

Якщо на основі цих даних побудувати в *Excel* графік і вивести його рівняння, то ми отримаємо таку картину:

Вплив на урожайність пшениці доз органічних добрив



Як результат, ми отримали рівняння лінійної функції, яка показує чому буде дорівнювати врожайність в залежності від дози мінеральних добрив:

$$Y = 0,3x + 30,18.$$

Використання кореляційних взаємозалежностей в програмуванні врожаїв.

Мета кореляційного аналізу – виявити наявність і силу (тісноту) зв'язку між двома змінними. Для цього необхідно розрахувати коефіцієнт парної кореляції, який є показником тісноти лінійного кореляційного зв'язку і має значення у межах від -1 до +1. У випадку, коли залежність між змінними є більш складною, ніж лінійний зв'язок, коефіцієнт кореляції прийме функцію 0.

Тіснота коефіцієнта кореляції вимірюється по певній градації його значення:

- до 0,3 – слабкий лінійний зв'язок;
- від 0,3 до 0,5 – помітний лінійний зв'язок;
- від 0,5 до 0,7 – помірний лінійний зв'язок;
- від 0,7 до 0,9 – тісний лінійний зв'язок;
- понад 0,9 – дуже тісний лінійний зв'язок.

Приклад: Розглянемо попередні дані впливу на урожайність пшениці внесених органічних добрив.

Відкриваємо *Excel* і створюємо таблицю даних:

	А	В
1	Доза орг.добрив, т/га	Урожайність ц/га
2	0	30,8
3	20	36,18
4	30	39,18
5	40	49,18
6	50	45,18
7	60	48,18
8	70	51,18
9	80	54,18
10		

Потім знаходимо у вкладці „Сервіс” вкладку „Анализ данных”.

В переліку інструментів аналізу знаходимо і підтверджуємо параметр „Кореляція”.

В параметрі „Входной интервал” виділяємо два стовпчика з числовими даними (крім назв стовпчиків), щоб він набув значення в нашому випадку:  $\$A\$2:\$B\$9$ .

	А	В
1	Доза орг.добрив, т/га	Урожайність ц/га
2	0	30,8
3	20	36,18
4	30	39,18
5	40	49,18
6	50	45,18
7	60	48,18
8	70	51,18
9	80	54,18
10		

Потім нажимаємо „ОК”.

В відкритому новому робочому аркуші на перетині стовпчика 1 з стовпчиком 2 ми бачимо значення коефіцієнта кореляції – 0,953657.

	А	В	С
1	Столбец 1	Столбец 2	
2	Столбец 1	1	
3	Столбец 2	0,953657	1
4			

Виходячи із значення коефіцієнта кореляції ми можемо припустити, що у впливові на урожайність пшениці внесених органічних добрив існує дуже тісний лінійний зв'язок (показник кореляції дорівнює 0,95).

### Питання для самоконтролю:

1. Навести графічні і графоаналітичні методи при програмуванні врожаїв.
2. Для чого використовуємо кореляційні взаємозв'язків та взаємозалежностей при програмуванні врожаїв?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

### Вивчити застосування лінійного програмування під час програмування врожаю

**Мета роботи:** оволодіти методами Монте-Карло, рендомізатор при використанні лінійного програмування врожаю.

**Завдання:** застосувати зазначені методи з визначення оптимального співвідношення роздільного і прямого комбайнування при збиранні зернових колосових в умовах Лісостепу України.

**Матеріали та обладнання:** розрахункові програми *Exel, Word*.

### Теоретична частина

*Лінійне програмування в програмуванні врожайності.*

Завдання лінійного програмування включають в себе дві основні частини:

- 1) Систему лінійних рівнянь чи лінійних нерівностей;
- 2) Лінійну форму (функцію мети), яка найбільш відповідає заданим лінійним нерівностям.

Типове формулювання задачі оптимального програмування завжди має такий вигляд:

Перетворити в мінімум (максимум) функцію мети:

$$C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n \quad (1)$$

При дотриманні таких умов обмеження використання ресурсів:

$X_1$	$>0$	}
$X_2$	$>0$	
$X_3$	$>0$	
$\dots$		
$\dots$		
$X_j$	$>0$	
$\dots$		
$X_n$	$\geq 0$	
$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1j}X_j + \dots + a_{1n}X_n = a_1$		
$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + \dots + a_{2j}X_j + \dots + a_{2n}X_n = a_2$		
$\dots$		
$a_{j1}X_1 + a_{j2}X_2 + a_{j3}X_3 + \dots + a_{jj}X_j + \dots + a_{jn}X_n = a_j$		
$\dots$		
$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + a_{m3}X_3 + \dots + a_{mj}X_j + \dots + a_{mn}X_n = a_m$		

(2)

Тут  $a_i$  і  $a_{ij}$  – деякі постійні величини, а  $C_j$  – коефіцієнти пропорційності;  
 $i = 1, 2, 3, \dots, m$   $j = 1, 2, 3, \dots, n$  ;  $n < m$ .

Нас не повинна насторожувати складність і дивність написаних виразів. В дійсності, вони по своєму, змістові дуже прості і стають цілком зрозумілими при розгляді конкретних задач.

В загальному виразі кожна окрема лінійна нерівність вигляду  $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1j}x_j + \dots + a_{1n}x_n \geq a_1$  визначає гіперплощину в n-мірному просторі.

Практичне рішення різних задач методами оптимального програмування зводиться до встановлення випуклої множини, що описується системою лінійних обмежень в n-мірному евклідовому просторі, з наступним пошуком в ньому таких точок, на яких функція (лінійна форма) досягала б свого оптимуму (мінімальних чи максимальних значень).

Тут загальною властивістю задач є: по-перше, встановлення вихідного плану задачі – вектора  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , що задовольняє вимоги  $x_j \geq 0$   $j=1, 2, \dots, n$  і системи нерівностей; по-друге, побудова опорних планів  $X'(x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ , таких планів, коли вектори  $P_i$ , що входять в розклад  $P_0 = \sum x_i P_i$  є позитивними коефіцієнтами  $x_i$ , є лінійно незалежними, а число його позитивних компонентів не перевищує значення  $m$ ; і на сам кінець – пошук із опорних планів оптимального плану, оптимізуючого дану лінійну форму.

### Хід роботи

Розглянемо два простих ілюстративних приклади оптимального рішення лінійного програмування.

Нехай, наприклад, на полі площею 300 га разом зі сходами кукурудзи появились однорічні бур'яни, які можна знищити, застосовуючи як культивацію, так і боронування. Від бур'янів потрібно позбавитися на протязі двох днів при наявності двох тракторних агрегатів. На культивації продуктивність агрегату дорівнює 50 га/день (при вартості робіт 4,5 грн./га), а на боронуванні – 150 га/день (1,5 грн./га). Разом з тим, в першому випадку знищується до 5% культурних рослин, в другому – до 7%. Збиток складає 0,6 грн. на кожен процент пошкоджених сходів на гектарі і в середньому на всій площі не повинен перевищувати 4 грн/га.

Перед агрономом поставлена задача знайти найбільш вигідний спосіб боротьби з бур'янами.

Як вирішується задача методом лінійного програмування?

Позначимо через  $U_1$  кількість гектарів, оброблюваних культиваторами, а через  $U_2$  – оброблюваних боронами. Тоді по умовам задачі запишемо просту систему нерівностей:

$$\begin{array}{l}
 \text{А) } Y_1 \geq 0 \\
 \text{Б) } Y_2 \geq 0 \\
 \text{В) } Y_1 + Y_2 \geq 300 \\
 \text{Г) } 3,0 Y_1 + 4,2 Y_2 \leq 1200
 \end{array}
 \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{А) } Y_1 \geq 0 \\ \text{Б) } Y_2 \geq 0 \\ \text{В) } Y_1 + Y_2 \geq 300 \\ \text{Г) } 3,0 Y_1 + 4,2 Y_2 \leq 1200 \end{array}} \right\} (3)$$

Дві останні нерівності можна уявити так:

$$\begin{array}{l}
 Y_2 \geq -Y_1 + 300, \\
 Y_2 \leq -0,72Y_1 + 286.
 \end{array}$$

Визначимо числові значення  $Y_1$  і  $Y_2$ , при яких вартість обробки і збиток будуть мінімальними. Графічне рішення цієї задачі можна побудувати за допомогою графіків. Кожна з точок  $M$  задовольнятиме рішення системи нерівностей, але оптимальною є крайня точка  $B$ , що відповідає обробці поля культиваторами на площі  $Y_1 = 44$  га і боровами на площі  $Y_2 = 265$  га.

Так як при великих  $m$  і  $n$  практично вкрай важко знайти оптимальний план шляхом відбору всіх опорних планів, то застосовується спеціальний впорядкований перехід від одного опорного плану до іншого. До числа таких прикладів відноситься так званий симплексний метод. Останній дозволяє знайти крайню точку і визначити є вона оптимальною чи ні. Він дозволяє також за певну кількість розрахованих прийомів (ітерацій) виявити, має взагалі дана задача оптимальний план чи він відсутній взагалі, і задача немає реального значення.

**Приклад:** В якості кількісного прикладу використання симплексного методу для пошуку оптимального рішення розглянемо задачу з визначення оптимального співвідношення роздільного і прямого комбайнування на збиранні зернових колосових в умовах Лісостепу України.

Перевагою симплексного методу є те, що на початку складається деякий вихідний (неоптимальний) план. Після цього прийнятий вихідний план шляхом послідовних розрахункових операцій – кроків постійно покращується до тих пір, поки не буде досягнутий кінцевий варіант.

Нехай потрібно в умовах Лісостепу України для збиральної площі в 1 млн. га визначити оптимальне співвідношення площ, відведених для роздільного і прямого комбайнування зернових колосових культур при максимальному отриманні валового збору (в грошовому виразі) і при найменшій потребі в зернових комбайнах. Звідси, в розглядуваній задачі „функція мети” чи основний цільовий критерій являє собою, отримання максимум валового збору зерна ( в грошовому виразі) з

врахуванням затрат на збирання хлібів при найменшому використанні комбайнів.

Ця мета повинна бути досягнута при дотриманні таких основних обмежень:

1) збиральна площа по всіх видів культур повинна прийматися відповідно існуючої структури посівних площ, в %;

2) повинні жорстоко дотримуватися встановлені агротехнічні строки для роздільного і прямого комбайнування;

3) в повній мірі забезпечуються змінні норми виробітку комбайнів як при роздільному, так і при прямому комбайнуванні;

4) коефіцієнти цільової функції і розрахункові матриці повинні визначатися по вихідним лімітним даним, згідно таблиці 2.1.

Виходячи з даних конкретних обмежуючих умов, складаються лінійні нерівності і рівняння для лінійного програмування.

Так, виходячи з потрібної кількості комбайнів  $M$  в кожному окремому господарстві в найбільш напружений період збирання та із площ, відведених для роздільного збирання озимого жита  $x_{11}$  і озимої пшениці  $x_{21}$ , при змінній нормі виробітку  $H_p = 13$  га і агротехнічному строковому збирання  $D_p = 10$  днів, можна написати нерівність:

$$\frac{X_n}{H_p \times D_p} + \frac{X_{21}}{H_p \times D_p} \leq M \text{ або } \frac{X_{11}}{13 \times 10} + \frac{X_{21}}{13 \times 10} \leq M$$

$$\text{Звідки } X_{11} + X_{12} \leq 130 M \quad (4)$$

Аналогічно складемо нерівності з потрібної кількості комбайнів  $M$  і площ жита і озимої пшениці, що збираються прямим комбайнуванням за кожен день, при нормі виробітку  $H_p = 11$  га/зміну і  $D_p = 1$ .

$$\frac{X_{ij}}{H_n \times D_n} + \frac{X_{ij}}{H_n \times D_n} \leq M,$$

де  $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$  – збиральні площі жита відповідно за 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й дні;

$x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}$  – збиральні площі озимої пшениці за ці ж дні.

Підставляючи числові значення  $H_p$  і  $D_p$ , отримаємо:

$$\left. \begin{array}{l} X_{12} + X_{22} \leq 11 \\ X_{13} + X_{23} \leq 11 \\ X_{14} + X_{24} \leq 11 \\ X_{15} + X_{25} \leq 11 \\ X_{16} + X_{26} \leq 11 \end{array} \right\} \quad (5)$$

Таблиця 2.1

### Перелік вихідної інформації

Показники	Одиниця	Озимі культури	Ярі культури
-----------	---------	----------------	--------------

	виміру	жито	пшениця	ячмінь	пшениця
Структура посівних площ	%	9	6	25	60
Збиральна площа (1000 000)	га	90 000	60 000	250 000	600 000
Врожайність зразка	ц/га	13	12	11	10
Агротехнічні строки для роздільного комбайнування	календарні дні	з 14 липня по 23 липня		з 29 липня по 16 серпня	
		5	5	6	6
Агротехнічні строки для прямого комбайнування	календарні дні	з 24 липня по 28 липня		з 10 серпня по 16 серпня	
		5	5	6	6
Змінна норма виробітку комбайнів:					
а) для роздільного комбайнування	га	13	13	13	13
б) для прямого комбайнування	га	11	11	11	11
Прямі грошові витрати:					
а) на роздільне комбайнування 1га	грн.	2,29	2,29	2,29	2,29
б) на пряме комбайнування 1га	грн.	2,64	2,64	2,64	2,64
Ціна 1 ц зерна	грн.	7,7	8,2	7,0	8,2
Втрати зерна технологічні:					
а) При роздільному комбайнуванні	%	0,7	0,7	0,7	0,7
б) при прямому комбайнуванні	%	1,5	1,5	1,5	1,5
Втрати при прямому комбайнуванні:					
в перший день збирання	%	0,05	0,1	0,15	0,1
в 2-й день збирання	%	0,20	0,4	0,6	0,4
в 3-й день збирання	%	0,45	0,9	1,35	0,9
в 4-й день збирання	%	0,80	1,6	2,4	1,6
в 5-й день збирання	%	1,25	2,5	3,75	2,5
в 6-й день збирання	%	1,8	3,3	5,4	3,3

Таким же шляхом складають рівняння, виходячи з потреби в кількості комбайнів М, площ ярого ячменя х37 і ярої пшениці х47, що збираються роздільним комбайнуванням, при Нр = 13 і Др = 12 днів, а саме:

$$X_{37} + X_{47} = 156M \text{ (формула 1.6)}$$

Те ж, виходячи з М і площі ярого ячменю і ярої пшениці, що збираються прямим комбайнуванням за кожен день, при Нр = 11 га, Др = 1 день,

Де X38, X39, X310, X311, X312, X313 – зібрана площа ячменю за 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й і 6-й дні;

X48, X49, X410, X411, X412, X413 – зібрана площа ярої пшениці за ці ж дні.



Так що справедливі рівняння:

$$\begin{array}{ll} X_{38} + X_{48} = 11M & X_{39} + X_{49} = 11M \\ X_{310} + X_{410} = 11M & X_{311} + X_{411} = 11M \\ X_{312} + X_{412} = 11M & X_{313} + X_{413} = 11M \end{array} \quad (6)$$

На кінець, складена система рівнянь, виходячи з загальної збиральної площі по культурам:

$$\begin{array}{l} X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} = 90000 \\ X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} = 60000 \\ X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} + X_{312} + X_{313} = 250000 \\ X_{48} + X_{49} + X_{410} + X_{411} + X_{412} + X_{413} = 600000 \end{array} \quad (7)$$

На цьому закінчується перша частина постановки задачі лінійного програмування.

Друга частина задачі складається з виведення лінійної форми чи функції мети, яка найбільш повно повинна відповідати заданим вище лінійним нерівностям і рівнянням.

Для складання лінійного рівняння цільової функції, в першу чергу, необхідно визначити коефіцієнти затрат основних ресурсів  $C_{ij}$  при невідомих  $X_{ij}$ , що входять в цільову функцію ( $\sum C_{ij} \cdot X_{ij}$ ), спрямовану до максимального значення.

В розглянутому конкретному випадку вказані коефіцієнти характеризують вартість зібраного зерна з 1 га з врахуванням прямих затрат на його збирання з кожного гектара.

Вони підраховуються по такій формулі:

$$C_{ij} = Y \cdot \eta_T \cdot \eta_e \cdot C_1 - C_2 \quad (8)$$

де  $Y$  – врожайність культур, ц/га;

$\eta_T, \eta_e$  – коефіцієнти втрат „технологічні” і „природні”, відповідно;

$C_1$  – ціна 1 ц зерна, грн.;

$C_2$  – прямі витрати на збирання 1 га, грн.

Після цього легко можна написати лінійне рівняння цільової функції:

$$\sum = C_{ij} \cdot X_{ij} = \max \quad (9)$$

або в числовому виразі:

$$\begin{aligned} \sum = C_{ij} \cdot X_{ij} = & 99,11X_{11} \quad -95,0X_{12} \quad -95,76X_{13} \quad -95,51X_{14} \\ & -95,17X_{15} \quad -94,73X_{16} \quad -95,42X_{21} \quad -94,19X_{22} \\ & -93,90X_{23} \quad -93,41X_{24} \quad -92,73X_{25} \quad -91,88X_{26} \\ & -74,17X_{37} \quad -73,09X_{38} \quad -72,75X_{39} \quad -72,19X_{310} \\ & -71,38X_{310} \quad -70,36X_{312} \quad -69,11X_{313} \quad -79,14X_{47} \\ & -78,05X_{48} \quad -77,81X_{49} \quad -77,40X_{410} \quad -76,84X_{411} \\ & -76,11X_{412} \quad -75,22X_{413} \end{aligned}$$

Після того, як стали відомі обидві частини задачі лінійного програмування, приступають до складання матриці для рішення задачі

симплексним методом. Для цього використовуються всі 18 лінійних рівнянь, що містять всі 27 вище вказаних невідомих величин.

Для рішення задачі на ЕОМ, згідно отриманій матриці була складена особлива програма, яка в розглянутому випадку вирішувалась на ЕОМ „Урал”.

*На основі отриманих результатів були зроблені висновки:*

1. При оптимальному співвідношенні роздільного і прямого комбайнування зернових колосових культур валовий збір зерна з площі 1000000 га в грошовому еквіваленті складає 79931072 грн., а якщо зібрати цю всю площу тільки прямим комбайнуванням, то валовий збір зерна зменшиться на 917580 грн. лише за рахунок появи природних втрат при прямому комбайнуванні у встановлені агротехнічні строки.

2. При оптимальному співвідношенні роздільного і прямого комбайнування на площі 1000 000 га при 14-годинній праці за добу і суворому дотриманні агротехнічних строків збирання потрібно 1914 зернових комбайнів. А якщо зібрати ту ж площу тільки роздільним способом, то потрібно 2724 комбайна, тобто в 1,42 рази більше. Для збирання хлібів на цій площі прямим комбайнуванням потрібно 6438 комбайнів, або в 3,3 рази більше, ніж при співвідношенні цих строків збирання. При цьому в стільки ж разів потреба в автотранспорті і кваліфікованих комбайнерах, водіях та інших механізаторах.

3. При оптимальному співвідношенні роздільного і прямого комбайнування збиральні площі по культурам розподіляються так, як вказано на таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

**Оптимальне співвідношення роздільного і прямого комбайнування**

Найменування культур	Всього площі, га	В тому числі під збирання			
		роздільним комбайнуванням		прямим комбайнуванням	
		га	%	га	%
1	2	3	4	5	6
Жито озиме	90 000	90 000	100	-	-
Пшениця озима	60 000	60 000	100	-	-

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
Всього озимих	150 000	150 000	100	-	-
Ячмінь ярий	250 000	207 000	83	43 000	17
Пшениця яра	600 000	389 000	65	211 000	35
Всього ярих	800 000	596 000	70	254 000	30

Всього зернових культур	1 000 000	746 000	74,6	254 000	25,4
-------------------------	-----------	---------	------	---------	------

### Метод Монте-Карло

Суть даного методу полягає в пошуку значення  $a$ , деякої дослідної величини. Для цього вибирають таку випадкову величину  $X$ , математичне очікування якої дорівнює  $a$ :

$$M(X) = a.$$

Практично в цьому випадку чинять так: проводять  $n$  кількість дослідів, в результаті яких отримують  $n$  можливих значень  $X$ ; вираховують їх середнє значення:  $\bar{x} = (\sum xi) / n$  і беруть  $x$  в якості оцінки (приблизного значення)  $a^*$  величини, що шукають  $a$ :

$$a \approx a^* = \bar{x}.$$

**Рендомізатор** (розігрування випадкових величин поведінки системи). Рендомізатором називають особливий прилад, що є джерелом (генератором) випадкових подій.

Він являє собою певну „модель невизначеності”, за допомогою якої виявляється стохастичний перебіг подій в системі. При створенні рендомізатора проблема стоїть не в тому, щоб шукати дійсно випадкові події в природі, які в ідеальному вигляді практично не можливі, а хоча би більш чи менш імітувати їх.

Це робиться таким чином: береться ряд частково незрозумілих процесів, які накладаються один на один, в результаті чого одержується суміш, яка, по суті не може бути випадковою.

Для розігрування випадкових величин поведінки системи використовують методи жеребкування, електронні схеми рендомізаторів та програми для ЕОМ.

### Питання для самоконтролю:

1. Навести основні частини лінійного програмування в програмуванні врожайності?
2. Що включає система лінійних рівнянь чи нерівностей?
3. Суть метода Монте-Карло.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

### Програмування потенційного врожаю

**Мета роботи:** оволодіти методом розрахунку потенційного врожаю А.О. Ничипоровича.

**Завдання.** Визначити потенційно можливий біологічний врожай сільськогосподарських культур і урожайність їх основної продукції за стандартної вологості в умовах Миколаївської області, якщо  $K_{\text{фар}}$  для зернових культур становить 2,35, а просапних – 2,18. Отримані дані занести в таблицю 3.1. На основі розрахунків, проведених на прикладі конкретного господарства, необхідно зробити висновок про те, чи є географічне розташування місцевості обмежуючим фактором отримання високих урожаїв сільськогосподарських культур щодо надходження ФАР. Запропонувати заходи, що забезпечують підвищення потенційного врожаю.

**Матеріали та обладнання:** розрахункові програми *Exel, Word*.

#### Теоретична частина

**Потенційна урожайність (ПУ)** – це максимальна урожайність, яку можна одержати за заданого коефіцієнта засвоєння ФАР посівом, якщо іншими чинниками життя рослини (посів) забезпечені повністю.

Дослідження енергетичного балансу фотосинтезу дали можливість ученим розрахувати можливі коефіцієнти засвоєння ФАР посівами і використати їх для розрахунків урожайності за ресурсами ФАР.

**А.О.Ничипорович запропонував для цього таку формулу:**

$$ПУ = \frac{\sum Q_{\text{фар}} \times K_{\text{фар}}}{10^4 \times q},$$

де, ПУ – потенційна урожайність абсолютно сухої біомаси, ц/га;

$\sum Q_{\text{фар}}$  – надходження ФАР до посіву за період активної вегетації, кДж або ккал/га;

$K_{\text{фар}}$  – коефіцієнт засвоєння ФАР посівами, %;

$q$  – калорійність (теплоутворююча), здатність абсолютно сухої біомаси культури, кДж або ккал/кг.

Знаючи стандартну вологість основної та побічної продукції, співвідношення їх в урожаї, потенційну врожайність абсолютно сухої біомаси переводять в урожайність основної і побічної продукції стандартної (залікової) вологості:

$$ПУ_0 = \frac{ПУ \times a_0 \times 100}{(100 - w_0) \times a}; \quad ПУ_{II} = \frac{ПУ \times a_{II} \times 100}{(100 - w_{II}) \times a},$$

де,  $ПУ_0$  – потенційна урожайність основної продукції стандартної вологості, ц/га;

$ПУ_{II}$  – потенційна урожайність побічної продукції стандартної вологості, ц/га;

$a$  – сума частин основної і побічної продукції в урожаї;

$a_0$  і  $a_{II}$  – кількість відповідно основної і побічної продукції в урожаї;

$w_0$  і  $w_{II}$  – стандартна (залікова, базисна) вологість відповідно основної і побічної продукції, %.

Якщо стандартна вологість основної і побічної продукції однакова, тоді урожайність побічної продукції розраховують за формулою:

$$ПУ_{II} = ПУ_0 \times a_{II}$$

### Хід роботи

**Приклад розрахунку.** Розрахувати потенційну урожайність ярого ячменю сорту Дружба у Фастівському районі Київської області за ККД ФАР 2%, якщо вегетаційний період триває з 15 квітня по 15 липня.

Із довідників (табл. 1) дізнаємося, що співвідношення основної й побічної продукції такого типу сорту ячменю 1:1,1, калорійність сухої біомаси ячменю – 18520 кДж/га, надходження сумарної радіації за квітень, травень, червень, липень відповідно становить 22,3; 29,7; 31,9; 32,0 кДж/см<sup>2</sup> (табл. 2).

Спочатку розраховуємо сумарне надходження радіації за вегетаційний період ячменю:

$$\frac{22,3}{30} \times 15 + 29,7 + 31,9 + \frac{32,0}{31} \times 15 = 88,2 \text{ (кДж/см}^2\text{)}$$

$$\text{або } 88,2 \times 10^8 \text{ кДж/га}$$

Розраховуємо урожайність абсолютно сухої біомаси при Кфар 2%.

$$ПУ = \frac{88,2 \times 10^8 \times 2}{18520 \times 10^4} = 95,2 \text{ (ц/га)}$$

Визначаємо урожайність зерна і соломи за стандартної вологості 14%.

$$ПУ_0 = \frac{95,2 \times 1 \times 100}{(100 - 14) \times 2,1} = 52,71 \text{ (ц/га); } ПУ_{II} = \frac{95,2 \times 1,1 \times 100}{(100 - 14) \times 2,1} = 57,98 \text{ (ц/га)}$$

$$ПУ_{II} = 52,71 \times 1,1 = 57,98 \text{ (ц/га)}$$

Отже, потенційна урожайність зерна ячменю сорту Дружба в умовах Фастівського району Київської області за ККД ФАР 2% становить 57,98 ц/га.

Таблиця 3.1

## Рівні потенційно можливих врожаїв сільськогосподарських культур

Культури	Тривалість вегетаційного періоду	Коефіцієнт використання ФАР, %	Надходження ФАР за вегетацію, кДж/га	Калорійність одиниці врожаю орг. Речовини, кДж/кг	Співвідношення основної та побічної продукції	Урожайність загальна біомаси, ц/га	Урожай за стандартної вологості, ц/га	
							основної продукції	побічної
Ярий ячмінь								
Кукурудза								
Соняшник								

### Питання для самоконтролю:

1. Що таке потенційна врожайність?
2. Як визначити потенційну урожайність?
3. Як визначити урожайність побічної продукції?

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4**

### **Визначення кліматичних ресурсів та розробка моделей клімату, рівнів потенційної врожайності**

**Мета роботи:** на основі проведених розрахунків розробити інформаційно-логічну модель клімату та встановити рівні потенційної кліматично-забезпеченої врожайності використовуючи коефіцієнт використання ФАР.

**Завдання:** згідно отриманого завдання розрахувати потенційний урожай сільськогосподарських; розрахувати середню багаторічну вологозабезпеченість і кліматично забезпечений урожай за ресурсами вологи та тепла сільськогосподарських культур; розрахувати коефіцієнт засвоєння ФАР посівами.

**Матеріали та обладнання:** розрахункові програми *Exel, Word*.

#### **Теоретична частина**

Визначення ресурсозабезпеченого врожаю є необхідним першочерговим розрахунком при програмуванні продуктивності культури. Це пов'язано, насамперед, з тим, що на першому етапі програмування необхідно визначитися з можливостями природних ресурсів і тими врожайми, які вони можуть сформувати. Відомо, що такими ресурсами є фотосинтетична активна радіація (ФАР), волога, тепло та природна родючість ґрунтів, які коливаються по роках у різних межах і мають випадковий характер. Це пояснюється необхідністю розглядати ресурсозабезпечений врожай не тільки для середніх умов, що призводить до значного спрощення таких розрахунків і значно знижує достовірність висновків, але й в усьому можливому діапазоні змін природних ресурсів, тобто проводити імпульсний аналіз.

Не викликає сумніву, що одним із істотних факторів росту, не зазначених вище, є аерація ґрунту, або наявність у ньому повітря, а значить, і кисню, необхідність якого загальновідома. Однак у зв'язку з тим, що водний і повітряний режими тісно між собою пов'язані, в подальшому під оптимальним водним режимом розуміють оптимальний водно-повітряний режим, тобто цей показник враховується, але не безпосередньо, а опосередковано.

#### **Хід роботи**

#### **Аналіз потенційних можливостей сортів**

*Потенційний урожай* – це найбільш можливий урожай, який визначається біологічними можливостями культури (сорту) і який можна одержати при ідеальних ґрунтово-кліматичних умовах. Величина цього врожаю залежить від величини використаної фотосинтетичної радіації (ФАР). Формула для визначення цієї урожайності має такий вигляд:

$$ПУ = \frac{Q \times K_Q}{100 \times C}, \quad (1)$$

де ПУ - врожайність абсолютно сухої біомаси, т/га;

Q - надходження ФАР до посіву за період активної вегетації, кДж/га;

$K_Q$  - коефіцієнт засвоєння ФАР посівами в ідеальних екологічних умовах 3-5 % ;

C - калорійність (теплоутворююча здатність) абсолютно сухої біомаси культури, кДж/т (додаток 3).

Середньомісячні та річні значення сумарної ФАР, кДж/см<sup>2</sup> наведені в додатку 1.

Для визначення потенційної урожайності основної продукції культури стандартної вологості використовують залежність:

$$ПУ_0 = \frac{100 \times ПУ}{(100 - B) \sum_{ч}}, \quad (2)$$

де ПУ<sub>0</sub> - потенційна урожайність основної продукції при стандартній вологості, т/га;

ПУ - потенційна урожайність абсолютно сухої біомаси, т/га;

B- стандартна вологість, % (додаток 2);

$\sum_{ч}$  - сума частин у відношенні основної продукції до побічної (додаток 4).

Слід зазначити, що в цьому випадку врожайність є господарською. Для визначення біологічної врожайності необхідно врахувати і кореневу систему культури, на формування якої була витрачена сонячна радіація.

### **Кліматично забезпечений ресурсами вологи врожай**

Отримання програмованих врожаїв істотно залежить від вологозабезпеченості посівів. Річні опади не повністю використовуються рослинами, частина їх збігає з талими водами, випаровується з поверхні ґрунту, не зайнятої рослинами. За узагальненими даними використання річних опадів на різних за механічним складом ґрунтах коливається від 42 до 88 відсотків. Різна



вологоємність ґрунтів зумовлює і значні коливання продуктивної вологи по агрокліматичних районах.

Через нерівномірність опадів по агрокліматичних районах України розрахунок кліматично забезпеченого врожаю по вологозабезпеченості посівів слід проводити диференційовано для кожного поля з урахуванням особливостей ґрунтів і рельєфу місцевості.

Розрахунок кліматично забезпеченого врожаю за вологозабезпеченістю посівів проводиться за формулою:

$$КУ_{В} = \frac{100 \times W}{K_w}, \quad (3)$$

де  $КУ_{В}$  - кліматично забезпечений урожай абсолютно сухої біомаси, т/га;

$W$  - кількість фактично доступної для рослин продуктивної вологи, мм;

$K_w$  - коефіцієнт водовикористання, м<sup>3</sup>/т, мм (додаток 5).

Доступна волога визначається за формулою:

$$W = W_H + (O \times K_o) - W_k, \quad (4)$$

де  $W$  - запаси продуктивної вологи за період вегетації, мм;

$W_H$  - кількість вологи в кореневмісному шарі в період сівби або відновлення активної вегетації озимих культур і багаторічних трав, мм;

$O$  - опади, які випадають за вегетаційний період культури, мм (додаток 6);

$K_o$  - коефіцієнт корисності опадів, які випали за вегетацію (0,8-0,9);

$W_k$  – кількість продуктивної води в ґрунті, що залишається в ньому на час збирання культури, мм. При визначенні кліматично забезпеченого врожаю за ресурсами вологи основної продукції ( $КУ_{В.о.}$ ) користуються формулою:

$$КУ_{В.о.} = \frac{100 \times КУ_{В}}{(100 - B) \sum_{q} q}, \quad (5)$$

**Приклад:** По багаторічним даним Полтавської державної сільськогосподарської дослідної дослідної станції, розміщеної в зоні Лісостепу, запаси продуктивної вологи для ячменю в період вегетації складають 251 мм. Коефіцієнт водовикористання в даних умовах складає – 350 м<sup>3</sup>/т.

Згідно формулі (5)  $КУ_{В}$  ячменю складає:

$$КУ_{В} = \frac{100 \times 251}{350 \times 10} = 7,17 \text{ т/га}.$$

При вологості 14%  $КУ_{В.о.}$  буде дорівнювати:

$$КУ_{В.О.} = \frac{100 \times 7,17}{(100 - 14) \times 2,1} = 3,97 \text{ м/га} \approx 4 \text{ т/га.}$$

Відповідно отриманого завдання розрахуйте середню багаторічну вологозабезпеченість і кліматично забезпечений урожай за ресурсами вологи сільськогосподарських культур і запишіть в таблицю 4.1. Зробіть висновки.

Таблиця 4.1

**Середня багаторічна вологозабезпеченість і урожай**

Культура	W <sub>н</sub> , мм	O, мм	0,8×O, мм	W <sub>к</sub> , мм	K <sub>w</sub> , м <sup>3</sup> /т	КУ <sub>в.о.</sub> , т/га
Пшениця озима						
Жито озиме						
Ячмінь						
Буряк цукровий						

**Кліматично забезпечений ресурсами тепла врожай**

Всі життєві функції рослин відбуваються за певного режиму температур. Теплову характеристику місцевості умовно характеризують сумою активних і ефективних температур. Температури, при яких активно відбуваються процеси життєдіяльності рослин, називають фізіологічно активними. Температури, нижче яких ці процеси практично не помітні, називають фізіологічним мінімумом, або нулем. Суму активних температур визначають, сумуючи середньодобові температури за ті дати, коли вона перевищувала біологічний нуль, тобто це сума плюсових середньодобових температур за період між точками перетину прямої біологічного нуля культури з кривою графіка річного ходу температури. Сума ефективних температур - це сума середньодобових температур понад біологічний мінімум.

Температурний режим місцевості зумовлюється її радіаційним балансом і залежить від географічної широти, напрямку і крутості схилу, тривалості світлового дня, кількості опадів.

Тепловий режим у польових умовах піддається активному регулюванню менше, ніж режим вологи, і в багатьох випадках є лімітуючим фактором урожайності. В цих випадках розрахунок кліматичної урожайності слід проводити за ресурсами тепла. Розрахунок урожайності з врахуванням ресурсів тепла здійснюють різними методами. Один із них запропонував Д.І. Шашко за біокліматичним потенціалом продуктивності, балів.

Розрахунок КУ<sub>БКП</sub> проводимо за формулою:

$$КУ_{БКП} = \beta \times БКП, \tag{6}$$

де  $KУ_{БКП}$  - кліматично забезпечена урожайність за ресурсами тепла, т/га;

БКП - біокліматичний потенціал продуктивності, балів;

$\beta$  - коефіцієнт, який при біокліматичному потенціалі в один бал практично дорівнює коефіцієнту використання ФАР посівом, або 1т урожаю зерна на кожний відсоток засвоєння ФАР.

БКП розраховується за формулою:

$$БКП = K_{ЗВ} \times \frac{\sum_{t > 10^{\circ}C}}{1000^{\circ}C}, \quad (7)$$

коефіцієнт зволоження розраховується за формулою:

$$K_{ЗВ} = 0,25 \frac{W}{R}, \quad (8)$$

де  $\sum_{t > 10^{\circ}C}$  - сума середньодобових температур вище  $10^{\circ}C$  за період вегетації культури;

W - запаси продуктивної вологи, мм;

R - радіаційний баланс за вегетаційний період, кДж/см<sup>2</sup>;

1000<sup>°C</sup> - сума середньодобових температур на північній межі землеробства;

0,25 - коефіцієнт, що показує питому теплоту випаровування, кДж/см<sup>3</sup>.

При визначенні кліматично забезпеченого урожаю основної продукції за ресурсами тепла ( $KУ_{БКП.О}$ ) користуються формулою:

$$KУ_{БКП.О} = \frac{100 \times KУ_{БКП}}{(100 - \beta)\Sigma\tau}, \quad (9)$$

**Приклад:** Сума температур вище  $10^{\circ}C$  на території, для якої визначається  $KУ_{БКП}$ , в Лісостеповій зоні України складає  $2800^{\circ}C$ , коефіцієнт зволоження –1. Культура озима пшениця,  $\beta$  – 3 %.

Розраховуємо БКП за формулою 7:

$$БКП = 1 \times \frac{2800}{1000} = 2,8.$$

Розраховуємо  $KУ_{БКП}$  за формулою 6:

$$KУ_{БКП} = 3 \times 2,8 = 8,4 \text{ т/га}.$$

$KУ_{БКП.О}$  основної продукції озимої пшениці дорівнює:

$$KУ_{БКП.О} = \frac{100 \times 8,4}{(100 - 3)2,3} = 4,2 \text{ т/га}.$$

Відповідно отриманого завдання розрахуйте кліматично забезпечений урожай за тепловими ресурсами сільськогосподарських культур і запишіть в таблицю 4.2. Зробіть висновки.

**Розрахунок кліматично забезпеченого урожаю за ресурсами тепла**

Культура	БКП	$\beta$	$\Sigma_t > 10^\circ\text{C}$	Запаси продуктивної вологи, мм (W)	Радіаційний баланс за вегет. період, КДж/см <sup>2</sup> (R)	Коефіцієнт зволоження (Кзв)	КУ <sub>БКП.О.</sub> т/га
Пшениця озима							
Жито озиме							
Ячмінь							
Буряк цукровий							

**Кліматично забезпечений ресурсами вологи і тепла врожай**

Урожайність запрограмованих посівів лімітується нестачею не лише вологи, а й тепла. Ці два фактори життя рослин тісно пов'язані між собою. Оцінюючи кліматично забезпечені урожаї, бажано враховувати взаємозв'язок цих факторів.

Одним із способів, який враховує такий взаємозв'язок, можна вважати визначення урожаю за гідротермічним показником балів за формулою А.М. Рябчикова:

$$ГТП = \frac{W \times T_v}{36 \times R} \times 4.19, \quad (10)$$

де ГТП - гідротермічний показник, балів;

W - запаси продуктивної вологи за вегетаційний період, мм;

T<sub>v</sub> - період вегетації, декад;

36 - кількість декад у році;

R - сумарний радіаційний баланс (ФАР) за вегетаційний період, кДж/см<sup>2</sup>;

4,19 - коефіцієнт для врахування співвідношення між калоріями і джоулями.

Таким чином, ГТП дозволяє враховувати вологозабезпеченість (W) і надходження тепла, пов'язані з радіаційним балансом (R).

Для розрахунку кліматично забезпеченого врожаю загальної біомаси використовують формулу:

$$КУ_{ГТП} = 2,2 ГТП - 1,0, \quad (11)$$

При визначенні КУ<sub>ГТП.О.</sub>-основної продукції користуються формулою:

$$ГТП_{Ю.} = \frac{100 \times КУ_{ГТП}}{(100 - B)\Sigma\text{ч}}, \quad (12)$$

**Приклад:** Вегетаційний період програмованого посіву цукрових буряків в умовах Полтавської області включає 13 декад, запаси

продуктивної вологи складають 370 мм. Сумарний радіаційний баланс за період вегетації 110 кДж/см<sup>2</sup>. В відповідності з формулою (10) розраховуємо:

$$ГТП = \frac{370 \times 13}{36 \times 110} \times 4.19 \text{ балів} = 5,09 \text{ балів.}$$

Використовуючи отриманні дані про значення ГТП, по формулі 11 розраховуємо кліматично забезпечений урожай загальної біомаси (КУ<sub>ГТП</sub>):

$$КУ_{ГТП} = 2,2 \times 5 - 1 = 10,2 \text{ т/га.}$$

Кліматично забезпечений урожай основної продукції буде дорівнювати:

$$КУ_{ГТП_0} = \frac{100 \times 10}{(100 - 80)1,4} = 36,4 \text{ т/га.}$$

Відповідно отриманого завдання розрахуйте кліматично забезпечений урожай за ресурсами вологи і тепла і запишіть в таблицю 4.3. Зробіть висновки.

Таблиця 4.3

**Розрахунок кліматично забезпеченого урожаю за ресурсами  
ВОЛОГИ ТА ТЕПЛА**

Культура	Запаси продуктивної вологи, мм	Період вегетації, декад (Тv)	Сумарний радіац. баланс за вегетац. період, кДж/см <sup>2</sup>	КУ <sub>ГТП</sub> загальної біомаси,	КУ <sub>ГТП_0</sub> , т/га
Пшениця озима					
Жито озиме					
Ячмінь					
Буряк цукровий					

**Визначення коефіцієнту засвоєння ФАР посівами**

Першоджерелом новостворюваної на земній кулі енергії є енергія сонця, акумульована рослинами в процесі фотосинтезу. Отже, оцінюючи ефективність роботи в рослинництві, слід, насамперед, враховувати величину акумульованої сонячної енергії урожаю: чим більша кількість енергії сонця, зафіксована на одиниці площі в органічній масі врожаю, тим вищої продуктивності цієї площі досягнуто в процесі виробництва.

ККД ФАР розраховують, виходячи з рівня мінімально кліматично забезпеченого урожаю за таким рівнянням:

$$K_Q = \frac{Y \times C}{Q} \times 100, \quad (13)$$

де K<sub>Q</sub> - коефіцієнт корисної дії ФАР, %;

У - урожайність абсолютно сухої біомаси сільськогосподарської культури, для якої визначається коефіцієнт використання ФАР, т/га;

С - кількість енергії, що накопичується одиницею сухої органічної речовини, кДж/т (додаток 2 );

Q - сумарне надходження ФАР до поверхні посіву за період активної вегетації культури, кДж/га;

100 - коефіцієнт переводу у відсотки.

Розрахунки коефіцієнтів засвоєння ФАР показують, що вони коливаються в значних межах. А.О.Ничипорович запропонував оцінювати посіви за відсотком засвоєння ФАР: звичайні - 0,5-1,5%, добрі - 1,5-3%, рекордні - 3,5-5%, теоретично можливі - 6-8%.

**Приклад.** Урожайність абсолютно сухої маси ячменю 6,45 т/га, при цьому сума надходження ФАР складає  $70,28 \times 10^8$  кДж/га, С - 18,520 кДж/т.

Коефіцієнт використання ФАР становить:

$$K_o = \frac{6,45 \times 10^6 \times 18,520 \times 100}{70,28 \times 10^8} = 1,7\%.$$

Відповідно отриманого завдання розрахуйте коефіцієнт засвоєння ФАР посівами і запишіть в таблицю 4.4. Зробіть висновки.

Таблиця 4.4

#### Розрахунок коефіцієнту засвоєння ФАР посівами

Культура	Q, кДж/га	У – абсолютно суха біомаса сільськогосподарських культур, т/га	С –калорійність 1т урожаю, кДж/т	ККД ФАР, %
Пшениця озима				
Жито озиме				
Ячмінь				
Бурак цукровий				

#### Питання для самоконтролю:

1. Як визначити потенційний урожай?
2. Принципи розрахування урожаю за академіком І. С. Шатіловим.
3. Кліматично забезпечений урожай за ресурсами вологи.
4. Визначення доступних рослинам ресурсів вологи.
5. Як Ви розумієте коефіцієнт водовикористання?
6. Біокліматичний потенціал балів і його розрахунок.
7. Коефіцієнт зволоження і його розрахунок.
8. Гідротермічний показник балів і його розрахунок.
9. Як розрахувати ресурси доступної вологи, мм?
10. Дайте визначення КУгтпо.
11. Визначення коефіцієнту засвоєння ФАР посівами.

12. Класифікація посівів за коефіцієнтом корисної дії ФАР.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

### Вивчити методи розрахунку фотосинтетичного потенціалу посівів

**Мета роботи:** провести розрахунок фотосинтетичного потенціалу посіву, що забезпечує одержання запрограмованого врожаю.

**Завдання:** розрахувати фітометричні показники посівів: озимої пшениці, кукурудзи на зерно, цукрового буряку, картоплі.

**Матеріали та обладнання** розрахункові програми *Exel, Word*.

### Теоретична частина

Проведення фітометричних вимірів у посівах при різному поєднанні факторів дозволяє програмувати вирощення високопродуктивних рослин “ідеального типу”, з найбільшою ефективністю використовуючи умови для нагромадження урожаю.

### Хід роботи

#### Розрахунок фітометричних показників посіву, який забезпечує одержання запрограмованого урожаю озимої пшениці

Основні показники, які враховують при розрахунку урожайності: середня ( $L_{cp}$ ) і максимальна ( $L_{max}$ ) площа листя, тривалість вегетаційного періоду ( $T_v$ ), фотосинтетичний потенціал (ФП), запланований вихід біомаси і зерна на 1 тис. одиниць ФП ( $M_{фп}$ ), середній вихід зерна з одного колосу.

Ці показники визначають за формулами:

$$\Phi П = L_{cp} \times T_v, (1)$$

$$L_{cp} = \Phi П : T_v, (2)$$

$$T_v = \Phi П : L_{cp}, (3).$$

Фотосинтетичний потенціал – це число робочих днів листової поверхні посіву. За узагальненими даними – 1000 одиниць ФП забезпечує збір 2-3 кг зерна озимої пшениці.

**Приклад:** При програмуванні врожаю озимої пшениці 50 ц/га зерна ( $Y_3$ ) за період вегетації – 100 днів ( $T_v = 100$  днів) – сумарний фотосинтетичний потенціал повинен становити:

$$\Phi П = 10^3 \times (Y_3 : M_{фп}),$$
$$\Phi П = 10^3 \text{ тис. м}^2/\text{га} \times \text{днів} \times (50 \text{ ц/га} : 2 \text{ кг}) = 2,5 \text{ млн. м}^2/\text{га} \times \text{днів}.$$



Знаючи тривалість вегетаційного періоду і величину фотосинтетичного потенціалу, визначаємо середній розмір асиміляційного апарату за формулою:

$$L_{\text{ср}} = \text{ФП} : T_v = 2,5 \text{ млн. м}^2/\text{га} \times \text{днів} : 100 \text{ днів} = 25 \text{ тис. м}^2/\text{га}.$$

У фазі колосіння такий посів повинен мати максимальну площу листя 45,8 тис. м<sup>2</sup>/га (25 тис. м<sup>2</sup>/га x 1,83).

Цій площі листя повинна відповідати певна густина і норма висіву, якщо вважати, що з кожного колосу буде одержано 1 г зерна, то при програмуванні урожайності 50ц/га на кожному гектарі повинно бути 5млн. колосків або 500 колосків на 1м<sup>2</sup> (50ц : 1г), а при продуктивній кущистості 1,2 відповідно – 4,2 млн. рослин/га або 420 рослин на м<sup>2</sup> (5млн. колосків/га : 1,2).

При загальному виживанні рослин до збирання ( $V_{\text{заг}}$ ) – 70% і польовій схожості 95% на кожний гектар необхідно висіяти 6,3 млн. схожого насіння = (50 x 1000) : (1,2 x 70) x 95.

При визначенні фактичної норми висіву (кг/га), яка у великій мірі залежить від посівних якостей наявного в господарстві насіння, необхідно вносити поправку на його посівну придатність.

Посівну придатність (П) визначають у відсотках за формулою:

$$П = \frac{Ч \times С}{100} = \frac{98,8 \times 97}{100} = 95,8 \approx 96 \%,$$

де Ч – чистота насіння, %,

С – схожість насіння, %.

Фактична норма висіву (Н) розраховується за формулою:

$$Н = \frac{К \times М \times 100}{П},$$

де Н – норма висіву, кг/га;

К – рекомендована норма висіву, т. . т.. зерна/га (6,3 млн.шт. зерна/га);

М – маса 1000 насінин (38г);

П – посівна придатність (96%).

Фактична норма висіву становитиме:  $H = \frac{6,3 \times 38 \times 100}{96} = 249_{\text{кг/га}}$ .

Для програмуваних урожаїв озимої пшениці на зерно 50, 55 і 60 ц/га розрахуйте фітометричні показники, визначить норми висіву насіння для оптимальної густоти посіву і запишіть в таблицю 5.1. Зробіть висновки.

Таблиця 5.1

## Розрахунок фітометричних показників і норм висіву насіння пшениці озимої

Показники	Програмована врожайність, ц/га		
	50	55	60
Максимальна площа листя ( $L_M$ тис. м <sup>2</sup> /га)	45,8		
Середня площа листя ( $L_{cp}$ тис. м <sup>2</sup> /га = $L_M : 1,83$ )	25		
Тривалість вегетаційного періоду ( $T_v$ ), днів	100		
Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП т. м <sup>2</sup> /га х днів = $L_{cp} \times T_v$ )	2,5		
Вихід зерна з одного колоса ( $Y_i$ ), г	1		
Число продуктивних колосків до збирання, на 1м <sup>2</sup> ( $Y_{prog} : Y_i = ПК$ )	500		
Продуктивна куцистість (К)	1,2		
Число продуктивних рослин до збирання на 1м <sup>2</sup> ( $Ч = ПК : К$ )	420		
Вживання рослин до збирання ( $B_{виж}$ ), %	70		
Норма висіву, т. схожого насіння/га	6,3		
Норма висіву, кг/га	249		

### Розрахунок фітометричних показників посіву, який забезпечує одержання запрограмованого урожаю кукурудзи на зерно

Основні показники, що враховують при розрахунку врожайності: середня ( $L_{cp}$ ) і максимальна ( $L_M$ ) площа листя, тривалість вегетаційного періоду ( $T_v$ ), фотосинтетичний потенціал (ФП), запланований вихід біомаси і зерна на 1 тис. одиниць ФП ( $M_{фп}$ ), середній вихід зерна з одного качана.

Ці показники визначають за формулою:

$$ФП = L_{cp} \times T_v, (1)$$

$$L_{cp} = ФП : T_v, (2)$$

$$T_v = ФП : L_{cp}, (3).$$

1000 одиниць ФП формують 2,7-3,5кг зерна кукурудзи.

**Приклад:** При програмуванні урожаїв кукурудзи на зерно 70ц/га ( $Y_z$ ) за період вегетації – 140 днів ( $T_v = 140$  днів) – сумарний фотосинтетичний потенціал повинен становити:

$$ФП = 10^3 \times (Y_z : M_{фп}),$$

$$ФП = 10^3 \text{ тис. м}^2/\text{га} \times \text{днів} \times (70 \text{ ц/га} : 2,7) = 2,6 \text{ млн. м}^2/\text{га} \times \text{дні}.$$

Знаючи тривалість вегетаційного періоду і величину ФП, визначаємо середній розмір асиміляційного апарату за формулою (2):

$$L_{cp} = ФП : T_v = 2,6 \text{ млн. м}^2/\text{га} \times \text{дні} : 140 \text{ днів} = 18,5 \text{ тис. м}^2/\text{га}.$$

У фазі максимального розвитку рослин кукурудзи такий посів повинен мати максимальну площу листя 35,2 тис.м<sup>2</sup>/га (18,5 тис м<sup>2</sup>/га x 1,9). Цій площі листя повинна відповідати певна густота і норма висіву. Якщо на кожному качані формується 190г зерна, то необхідно мати на кожному гектарі 36,8 тис. продуктивних рослин (70 ц/га : 190г). Загальне виживання рослин до збирання (В<sub>заг</sub>) 82 % . На кожний гектар необхідно висіяти 44,9 тис. насіння (36,8 тис./га : 82 x 100). Враховуючи польову схожість кукурудзи (92%), на один гектар треба висіяти 48,8 тис. насінин.

Фактична норма висіву (Н) розраховується за формулою:

$$H = \frac{K \times M \times 100}{\Pi},$$

де Н – норма висіву, кг/га;

К – рекомендована норма висіву, т. . т.. зерна/га (0,0488 млн. т.. зерна/га); М – маса 1000 насінин, г (300 г); П – посівна придатність, (93%).

Фактична норма висіву становитиме:

$$H = \frac{0,0488 \times 300 \times 100}{93} \approx 16 \text{ кг/га}$$

Розрахуйте фітометричні показники і норми висіву кукурудзи на зерно на програмований урожай 70, 85, 90 ц/га і запишіть в таблицю 5.2. Зробіть висновки.

Таблиця 5.2

### Розрахунок фітометричних показників і норм висіву кукурудзи на зерно

Показники	Програмована урожайність, ц/га		
	70	85	90
Максимальна площа листя ( L <sub>м</sub> тис. м <sup>2</sup> /га)	35,2		
Середня площа листя ( L <sub>ср</sub> тис. м <sup>2</sup> /га = L <sub>м</sub> :1,9)	18,5		
Тривалість вегетаційного періоду (Т <sub>в</sub> ), днів	140		
Фотосинтетичний потенціал посіву (ФП млн. м <sup>2</sup> /га x днів = L <sub>ср</sub> x Т <sub>в</sub> )	26		
Вихід зерна з одного качана, г	190		
Задане число продуктивних рослин до збирання, тис./га	36,8		
Загальне виживання насіння і рослин до збирання, %	82		
Норма висіву, тис. насіння / га	48,8		
Норма висіву, кг/га	16		

#### Питання для самоконтролю:

1. Як визначити площу листя: середню і максимальну?

2. Що таке чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ)?
3. Дати визначення фотосинтетичного потенціалу (ФП) посіву.
4. Як розрахувати норму висіву насіння кукурудзи на зерно?
5. Як розрахувати задане число продуктивних рослин до збирання тис./га?
6. Фактори, які підвищують і знижують чисту продуктивність фотосинтезу.
7. Як розрахувати тривалість вегетаційного періоду?

## **ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6**

### **Визначити і розрахувати норми добрив під запрограмований урожай**

**Мета роботи:** оволодіти методами розрахунку органічних та мінеральних добрив; навчитись складати систему удобрення.

**Завдання:** згідно отриманого завдання розрахувати балансово-розрахунковим методом норми мінеральних добрив під культури сівозміни, скласти систему удобрення.

**Матеріали та обладнання:** розрахункові програми *Exel, Word*.

#### **Теоретична частина**

Розробка системи удобрення в сівозміні пов'язана з правильним встановленням норм добрив під кожен культуру сівозміни. Норми добрив розраховують в залежності від біологічних особливостей культур, кліматичних і погодних умов, рівня агротехніки, потенціальної і ефективної родючості ґрунту, забезпеченості органічними і мінеральними добривами господарства та інші умови.

Найбільш поширеними методами розрахунку добрив є метод визначення норм добрив, що ґрунтуються на використанні результатів польових дослідів з добривами, за нормами витрат добрив на одиницю урожаю, за окупністю добрив та ресурсним потенціалом ґрунтів, балансово-розрахункові методи визначення норм добрив за виносом поживних речовин всім урожаєм або запланованим приростом його і розрахунок норм мінеральних добрив на запрограмований урожай з урахуванням бонітету ґрунту, урожайної ціни балу бонітету та окупності добрив урожаєм.

#### **Методи, що ґрунтуються на використанні результатів польових дослідів з добривами**

Метод базується на встановленні норми добрив на основі результатів багаторічних польових дослідів на типових для зони ґрунтах. Рекомендовані норми мінеральних добрив під культуру є середніми для кожного типу ґрунту в межах регіону. При розрахунках норм добрив для кожного поля сівозміни під культуру вони корегуються відповідно агрохімічних показників забезпеченості рухомими поживними речовинами. При цьому вводяться поправки на вміст поживних речовин у ґрунті, попередник і удобрення його мінеральними і органічними добривами.

#### **Хід роботи**

Розрахунки добрив по даному методу М.В.Лісовий і Л.М. Пальчук, Б.С. Носко (1991) рекомендують проводити за формулою:

$$H = \frac{(N_1 - (M \times K_1)) - (O \times B \times K_2)}{100} : K_3 \times K_4, \quad (1)$$

де: Н - уточнена норма мінеральних добрив (азотних, фосфорних чи калійних) у поживних речовинах, кг/га д.р;

Н<sub>1</sub> - рекомендована норма мінеральних добрив, кг/га д.р.;

М - кількість поживної речовини, внесеної з мінеральними добривами під попередник, кг/га д.р.;

О - кількість органічних добрив, внесених під попередник, т/га;

В - вміст поживної речовини в органічних добривах, %;

К<sub>1</sub> і К<sub>2</sub> - коефіцієнти використання поживної речовини на другий рік після внесення відповідно з мінеральних та органічних добрив, %;

К<sub>3</sub> - коефіцієнт поправки на вміст поживної речовини у ґрунті;

К<sub>4</sub> - коефіцієнт поправки на попередник.

Коефіцієнт поправки на агрохімічні показники ґрунту розраховують за формулою:

$$K_3 = 2 - P / P_{ср}, \quad (2)$$

де: P - фактичний вміст рухомих форм поживних речовин у ґрунті, мг/100 г;

P<sub>ср</sub> - середній вміст поживної речовини у ґрунті, мг/100 г (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Середній вміст рухомих поживних речовин у ґрунті, мг на 100 г ґрунту**

N за		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> за			K <sub>2</sub> O за			
Тюріні- ним- Кононо- вою	Корн- філдом	Кірса- но- вим	Чиріко- вим	Мачигі- ним	Кір- са- но- вим	Чирі- ковим	Мачи- гіним	Масло- вою
Для зернових і кормових культур								
4,5	17,5	7,5	7,5	2,3	10	10	15	12,5
Для технічних і овочевих культур								
5	20	10	10	3	12	12	20	15

**Метод за нормативами витрат добрив на одиницю врожаю**

Це – найпростіший із розрахункових методів. У ньому використовують такі показники: планова урожайність (Уп), нормативні витрати добрив для одержання 1 ц урожаю (Н), поправочні коефіцієнти

на вміст поживних речовин у ґрунті (К). Норми мінеральних добрив розраховуються за формулою:

$$Д = У_{\text{п}} \times Н \times К \quad (3)$$

**Приклад:** Планується одержати врожайність цукрових буряків 300 ц/га. Агрохімічні показники ґрунту, мг/100 г: N – 5,0; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 9,0; K<sub>2</sub>O - 16.

Нормативна витрата елементів живлення на 1ц коренеплодів, кг: N -0,45; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-0,45; K<sub>2</sub>O-0,51.

На 1 га посіву необхідно внести, кг/га д.р.

$$Д_{\text{N}} = 300 \times 0,45 \times 1,0 = 135;$$

$$Д_{\text{P}_{2}\text{O}_{5}} = 300 \times 0,45 \times 1,1 = 148;$$

$$Д_{\text{K}_{2}\text{O}} = 300 \times 0,51 \times 0,7 = 107.$$

#### **Метод за окупністю добрив**

Для його розрахунку використовують показник природної родючості ґрунтів – бонітет (Б), оціночні шкали балів бонітету для вирощування сільськогосподарських культур (Ц), нормативи окупності органічних та мінеральних добрив (О<sub>0</sub> та О<sub>м</sub>), які розроблено або уточнено на основі результатів польових дослідів. Розрахунок ведуть у два етапи. Спочатку визначають загальну норму азотних, фосфорних і калійних добрив за формулою:

$$Д_{\text{НРК}} = (У_{\text{п}} - \text{БЦ} - Д_0 \times \text{O}_0) : \text{O}_m, \text{ кг/га} \quad (4)$$

Потім розподіляють її на окремі види за співвідношенням N:P:K, оптимальним для даної культури.

**Приклад:** На чорноземах типових Кіровоградської області з вмістом N -4,5; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 10; K<sub>2</sub>O – 12 мг на 100 г ґрунту, бонітет яких становить 70 балів, заплановано одержати 50 ц/га зерна озимої пшениці, під яку внесено 30 т/га гною. Ціна одного бала бонітету ґрунтів становить 0,49 ц, окупність органічних добрив – 0,28 ц/т, мінеральних добрив – 4,3 ц/ц.

#### **Рішення:**

Для одержання запланованого врожаю треба внести всього мінеральних добрив у поживних речовинах:

$$Д_{\text{НРК}} = (50 - 70 \times 0,49 - 30 \times 0,28) : 4,3 = 170 \text{ кг/га д.р.}$$

Оптимальне співвідношення N: P: K на чорноземах типових для озимої пшениці становить 1: 0,7: 0,5, тоді на долю азоту припадає 170: 2,2 = 77кг/га д.р.; фосфору – 77 • 0,7 = 54 кг/га д.р.; калію – 77 • 0,5 = 39 кг/га д.р. З поправкою на агрохімічні показники ґрунту дози елементів живлення становлять, кг/га д.р.: N= 77 • 1 = 77; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 54 • 0,7 = 37; K<sub>2</sub>O

$$= 39 \cdot 0,8 = 31 \text{ (N}_{77}\text{P}_{37}\text{K}_{31}\text{)}.$$

### **Балансово-розрахунковий метод**

Балансово-розрахунковий метод полягає в тому, що норми добрив на запланований урожай встановлюються з врахуванням виносу поживних речовин запланованим урожаєм сільськогосподарських культур, наявності у ґрунті рухомих поживних речовин, коефіцієнтів використання поживних речовин з ґрунту, органічних та мінеральних добрив, післядії внесених під попередник органічних і мінеральних добрив.

Найбільш досконалим є балансовий метод за виносом елементів живлення основною та побічною продукцією.

### **Балансовий метод розрахунку норм мінеральних добрив по кожному елементу живлення**

По цьому методу норма мінерального добрива визначається по кожному поживному елементу: враховується виніс даного елемента урожаєм рослин, коефіцієнт використання елемента живлення з добрив, вміст його в ґрунті і коефіцієнт використання цього елемента рослиною з ґрунту за формулою:

$$D = \frac{100 \times B - P \times K_n}{K_y}, \quad (5)$$

де  $D$  – норма мінерального добрива, кг/га д.р.;

$B$  - виніс елемента живлення програмованим урожаєм, кг/га (додаток 9);

$P$  - вміст в ґрунті поживного елемента в доступній формі, кг/га;

$K_n$  - коефіцієнт використання поживного елемента з ґрунту, % (додаток 7);

$K_y$  - коефіцієнт використання поживного елемента з добрив, % (додаток 8).

При розрахунку кількості азоту, що поступає за рахунок фіксації бульбочковими бактеріями бобових культур враховується його надходження.

**Приклад:** Розрахувати норми мінеральних добрив для одержання запрограмованого врожаю вівса 3,7 т/га у Зінківському районі Полтавської області. Тип ґрунту, де вирощується овес, – чорнозем типовий. Вміст в мг на 100 г ґрунту: N-7,9; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 9,4; K<sub>2</sub>O-11,3.

#### **Рішення:**

Норми мінеральних добрив для одержання врожаю вівса 3,7 т/га розраховуємо балансовим методом по кожному поживному елементу,



щоб задовольнити потребу рослин в поживних речовинах, забезпечити розширене відтворення ґрунтової родючості і одночасно не допустити забруднення навколишнього середовища.

1. Розраховуємо потребу в азотних добривах:

$$D_N = \frac{100 \times 3,7 \times 32 - 7,9 \times 30 \times 25}{60} = \frac{11840 - 5925}{60} = \frac{5915}{60} = 99 \text{ кг/га д.р.},$$

2. Розраховуємо потребу в фосфорних добривах:

$$D_{P_2O_5} = \frac{100 \times 3,7 \times 14 - 9,4 \times 30 \times 9}{20} = \frac{5180 - 2538}{20} = \frac{2642}{20} = 132 \text{ кг/га д.р.},$$

3. Розраховуємо потребу в калійних добривах:

$$D_{K_2O} = \frac{100 \times 3,7 \times 28 - 11,3 \times 30 \times 14}{60} = \frac{10360 - 4746}{60} = \frac{5614}{60} = 94 \text{ кг/га д.р.},$$

Висновок: Таким чином, для одержання урожаю вівса 3,7 т/га необхідно внести  $N_{99}P_{132}K_{94}$ .

### **Балансовий метод розрахунку норм мінеральних добрив при сумісному внесенні з органічними добривами**

При розрахунку норми мінерального добрива, яке застосовується в поєднанні з органічними добривами, в формулу вводять вираз, що показує кількість доступних форм поживного елемента в органічному добриві:

$$D = \frac{100 \times B - (D_o \times K_n + D_o \times C_o \times K_o)}{K_y} \quad (6),$$

де  $D_o$  – кількість органічного добрива, яке вноситься, т/га;

$C_o$  – вміст поживного елемента в органічному добриві, кг/т;

$K_o$  – процент використання поживного елемента з органічного добрива (додаток 8).

**Приклад:** Розрахувати норми мінеральних добрив для одержання програмованого врожаю цукрового буряку 45,6 т/га в Полтавському районі Полтавської області. Тип ґрунту чорнозем опідзолений, вміст в мг на 100 г ґрунту: N – 5,8;  $P_2O_5$  – 7,8;  $K_2O$  – 8,4. Внесено органічних добрив під цукровий буряк 40 т/га.

### **Рішення:**

1. Розраховуємо потребу в азотних добривах:

$$D_N = \frac{100 \times 45,6 \times 6 - (5,8 \times 30 \times 33 + 40 \times 5 \times 25)}{60} = \frac{22800 - (5742 + 5000)}{60} = \frac{12058}{60} = 201 \text{ кг/га д.р.}$$

2. Розраховуємо потребу в фосфорних добривах:

$$D_{P_2O_5} = \frac{100 \times 45,6 \times 1,3 - (7,9 \times 30 \times 9 + 40 \times 2,5 \times 30)}{20} = \frac{5928 - (2133 + 3000)}{20} = \frac{795}{20} = 40 \text{ кг/га д.р.}$$

3. Розраховуємо потребу в калійних добривах:

$$D_{K_2O} = \frac{100 \times 45,6 \times 5 - (8,4 \times 30 \times 30 + 40 \times 6 \times 60)}{60} = \frac{22800 - (7560 + 1440)}{60} = \frac{840}{60} = 14 \text{ кг/га д.р.}$$

Висновок: Таким чином, для одержання програмованого урожаю цукрового буряку 45,6 т/га на фоні 40 т/га гною необхідно внести:  $N_{201}P_{40}K_{14}$ .

### Балансовий метод розрахунку норм мінеральних добрив з урахуванням дії і післядії мінеральних і органічних добрив

Норми мінеральних добрив за цим методом розраховують за формулою:

$$H = \frac{(B \times Y \times 100 - \Pi \times 30 \times K_{\Pi} - O^1 \times B_0 \times K^1_0 - M^1 \times K^1_M - O \times B_0 \times K_0)}{K_M} \quad (7),$$

де: Н – норми поживної речовини (азоту, фосфору, калію), кг/га д.р.;

В - винос елемента живлення 1 ц основної і відповідної кількості побічної продукції, кг/га (додаток 9);

У - запланований урожай, ц/га;

П - вміст елемента живлення у ґрунті, мг/100 г;

30 - коефіцієнт перерахунку елемента живлення поживних речовин у ґрунті з мг/100 г у кг/га;

$K_{\Pi}$  - коефіцієнт використання елементів живлення з ґрунту, % (додаток 7);

О,  $O^1$  - доза органічних добрив, що необхідно внести безпосередньо під культуру(О), або яку внесли під попередник ( $O^1$ ), т/га;

$B_0$  - вміст елемента живлення в 1 т органічних добрив, кг;

$K_0$ ,  $K^1_0$  - коефіцієнти використання поживної речовини з органічних добрив відповідно у перший та другий рік, % (додаток 8);

$M^1$  - кількість елемента живлення, внесеного під попередник з мінеральними добривами, кг/га;

$K_M$ ,  $K^1_M$  - коефіцієнт використання поживних речовин з мінеральних добрив відповідно у перший та другий рік (додаток 8).

**Приклад:** Розрахувати норми мінеральних добрив для одержання програмованого урожаю озимої пшениці 60 ц/га в умовах Полтавської області. Тип ґрунту – чорнозем опідзолений, вміст в мг на 1 кг ґрунту: N-70;  $P_2O_5$  - 80;  $K_2O$  – 90. Під озиму пшеницю внесено 20 т органічних добрив.

#### Рішення:

$H(N) = 3,2 \times 60 \times 100 - 70 \times 3 \times 34 - 0 - 0 - 20 \times 5 \times 25 / 50 = 159 \text{ кг/га д.р.};$

$H(P_2O_5) = 1,1 \times 60 \times 100 - 80 \times 3 \times 9 - 0 - 0 - 20 \times 2,5 \times 30 / 20 = 147 \text{ кг/га д.р.};$

$H(K_2O) = 1,6 \times 60 \times 100 - 90 \times 3 \times 13 - 0 - 0 - 20 \times 6 \times 50 / 70 = 1,5 \text{ кг/га д.р.}$

Висновок: Для одержання програмованого урожаю озимої пшениці 60 ц/га потрібно внести  $N_{159}P_{147}K_2$ .

### **Розрахунок норм мінеральних добрив на програмований урожай з урахуванням бонітету ґрунту, урожайної ціни бонітувального балу та окупності добрив урожаєм**

Даний метод можна назвати комплексним, тому що бальна оцінка ґрунту дозволяє комплексно враховувати властивості ґрунту, вплив добрив на урожайність сільськогосподарських культур.

Щоб розрахувати кількість мінеральних добрив для отримання запланованого приросту урожаю, необхідно від величини запрограмованого урожаю відрахувати урожай, який може бути отриманий за рахунок природної родючості ґрунту і післядії добрив, внесених під попередник. Потім, виходячи із величини нормативної окупності добрив урожаєм конкретної культури, розраховують кількість добрив, необхідних для отримання запланованого приросту урожаю.

Розрахунок ведуть за формулою:

$$K_M = \frac{P_{рУ} - B \times Ц \times Ц_{пр.} - K_{о.} \times O_{о.} - K_{о.пр.} \times O_1 \times O_{о.} - K_{м.пр.} \times O_2 \times O_{м.}}{O_{м.}}, \quad (8) \quad \text{де}$$

$K_M$  – необхідна кількість мінеральних добрив, кг/га д.р.;

$P_{рУ}$  – програмована урожайність, ц/га;

$B$  – бонітет ґрунту поля, для якого програмується урожай, балів;

$Ц$  – ціна одного балу бонітету, ц/га;

$Ц_{пр.}$  – поправочний коефіцієнт до бонітету ґрунту на попередник;

$K_{о.}$  – запланована кількість органічних добрив, т/га;

$K_{о.пр.}$  – кількість органічних добрив, внесених під попередник, т/га;

$O_{о.}$  – окупність 1т органічних добрив урожаєм сільськогосподарських культур, ц;

$O_1$  – коефіцієнт післядії органічних добрив;

$K_{м.пр.}$  – кількість мінеральних добрив, внесених під попередник, ц;

$O_2$  – коефіцієнт використання в післядії мінеральних добрив;

$O_{м.}$  – окупність 1ц поживної речовин мінеральних добрив урожаєм сільськогосподарських культур, ц (додаток 10).

Розрахунок конкретної кількості кожного елемента живлення, яке необхідне для одержання запрограмованої прибавки урожаю, у відповідності з співвідношенням НРК і поправочними коефіцієнтами на вміст цих поживних елементів в ґрунті проводиться за формулою:

$$K_{ел} = \frac{K_{м} \times a_{ел} \times O_{ел}}{a_{м}}, \quad (9)$$

де  $K_{ел}$  – кількість конкретного (азотного, фосфорного або калійного) мінерального добрива, необхідного для одержання запрограмованої прибавки урожаю, кг/га д.р.;

$K_{м}$  – сумарна кількість мінеральних добрив, необхідних для запрограмованої прибавки, кг/га д.р.;

$a_{м}$  – сума частин в відношенні N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O (наприклад, якщо N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:1:0,7, то  $a_{м}=1+1+0,7=2,7$ );

$a_{ел}$  – величина частини одного елемента у відношенні N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O;

$O_{ел}$  – поправочні коефіцієнти на вміст поживного елемента в ґрунті.

**Приклад:** Визначити необхідну кількість мінеральних добрив, кг/га д.р. для одержання програмованого приросту урожаю цукрового буряку в господарстві Семенівського району Полтавської області. Запрограмований урожай коренеплодів цукрового буряка 47 т/га. Попередник озима пшениця. Середньозважений бонітет поля 69, ціна одного балу бонітету ґрунту по цукровому буряку 4,2 ц/га, поправочний коефіцієнт до бонітету ґрунту (чорнозем типовий важко суглинистий) – 1,22. Під озиму пшеницю внесено по 50 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> і K<sub>2</sub>O в сумі 1ц/га. Під цукровий буряк планується внести 30 т/га гною. Окупність 1т органічних добрив приростом врожаю складає 1,7 ц/га, а одного центнера мінеральних добрив (NPK) – 30,6 ц. Коефіцієнт використання післядії мінеральних добрив – 0,15.

Визначити норму кожного з поживних елементів (NPK) для одержання програмованого приросту коренеплодів буряку цукрового. Співвідношення N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O складає 1:1:0,7, поправочний коефіцієнт на вміст поживного елемента в ґрунті: 0,8 для азотних добрив, 0,9 – фосфорних і калійних.

### **Рішення:**

1. Розраховуємо необхідну кількість мінеральних добрив (NPK), кг/га д.р. для одержання програмованого приросту буряків цукрових:

$$K_{м} = \frac{470 - 69 \times 4,2 \times 1,22 - 30 \times 1,7 - 1 \times 0,15 \times 30,6}{30,6} \times 100 = 199 \text{ кг/Га д.р.}$$

2. Розраховуємо потребу в азотних добривах для одержання програмованого приросту урожаю буряків цукрових:

$$K_{N} = \frac{199 \times 1 \times 0,8}{2,7} = 58,9 \sim 59 \text{ кг/га д.р.}$$

3. Розраховуємо потребу в фосфорних добривах для одержання програмованого приросту урожаю буряків цукрових:

$$K_{P_{2O_5}} = \frac{199 \times 1 \times 0,9}{2,7} = 66 \text{ кг/га д.р.}$$

4. Розраховуємо потребу в калійних добривах для одержання програмованого приросту урожаю буряків цукрових

$$K_N = \frac{199 \times 0,7 \times 0,9}{2,7} = 46 \text{ кг/га д.р.}$$

Висновок: Для одержання програмованого приросту коренеплодів буряків цукрових необхідно внести  $N_{59}P_{66}K_{46}$ .

### **Питання для самоконтролю:**

1. Навести методи визначення норм NPK під запрограмований урожай сільськогосподарських культур.

2. Як проводиться розрахунок урожаю по ефективній родючості ґрунту.

3. Суть розрахунку норм NPK при сумісному внесенні органічних і мінеральних добрив?

4. Як розрахувати фактично одержаний врожай за рахунок внесених добрив?

5. Які треба намітити конкретні заходи, спрямовані на підвищення ефективності використання добрив?

6. Як розрахувати кількість NPK та мінерального добрива, яке необхідне для одержання запрограмованої прибавки урожаю, кг/га д.р.?

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

### Визначити вологість ґрунту та запаси води в ньому, а також баланс вологи

**Мета роботи:** навчитись розраховувати баланс вологи в ґрунті та запаси води в ньому.

**Завдання:** Розрахувати баланс вологи в ґрунті в 2007 і 2008 роках.

**Матеріали та обладнання:** розрахункові програми *Excel, Word*.

#### Теоретична частина

Опади не повністю просочуються в ґрунт. Частина їх стікає по поверхні землі, частина затримується рослинним покривом та випаровується. Кількість опадів, які просочилися у ґрунт, залежить від його водопроникності, тобто від здатності ґрунту вбирати і пропускати воду, а швидкість просочення – від механічного складу, розміру пор і структури ґрунту.

ґрунти з грудкуватою (діаметром понад 10 мм) структурою та значним вмістом пилової фракції (частинки менш як 0,25 мм) гірше пропускають воду. Якщо вони складаються з агрономічно цінних фракцій (0,25-10 мм), то вода при опадах і таненні снігу легко проникає в поверхневі і глибокі шари.

Здатність ґрунту вміщувати і утримувати ту чи іншу кількість води називається вологоємністю.

При заповненні водою усіх проміжків і пор (некапілярних та капілярних) ґрунт досягає найменшої, або гранично польової, вологоємності. Якщо водою заповнені тільки капілярні пори, а крупні некапілярні – повітрям, ґрунт має капілярну вологоємність. Оптимальне співвідношення між об'ємами пор, зайнятих повітрям та водою, дорівнює 50%.

ґрунт має здатність вбирати і утримувати на поверхні часток пароподібну вологу. Цю здатність ґрунту називають гігроскопічністю.

Зв'язана вода утворюється при взаємодії сухого ґрунту з водою. Навколо ґрунтових частинок створюється водяна оболонка, яка утримується силами притягання. Проте ці сили надійно зв'язують тільки внутрішні шари води, а самі швидко зменшуються із зростанням товщини оболонки. Внутрішні шари оболонки називають міцно зв'язаними водою, а зовнішні – плівковими.

Вільна вода у ґрунті знаходиться під впливом капілярних сил і сил тяжіння. Вода у капілярних проміжках ґрунту називається

капілярною. Пори тут мають розмір у діаметрі до 2 мм. Рух капілярної води здійснюється за законом капілярності.

Частина води у ґрунті заповнює крупні пори діаметром понад 2 мм, переміщується під впливом сили тяжіння. Така вода називається між капілярною, або гравітаційною.

Капілярна вода піднімається від рівня ґрунтових вод, хоч вона може бути і не зв'язана з цим рівнем. Тоді опади, які потрапляють у ґрунт, утримуються в його верхніх шарах. Вода, що утримується у ґрунтових капілярах і не має зв'язку з ґрунтовою водою, називається підвішеною капілярною. Вона є основним джерелом живлення рослин.

Вологість, за якої ґрунт перестає віддавати воду рослинам і вони починають в'янути, називається вологістю в'янення. Волога, яка перевищує цю величину, є продуктивною і доступна для рослин.

Уся волога, запаси якої нижчі за вологість в'янення, для рослин не доступна (так званий мертвий запас). Вологість в'янення у природних умовах залежить від механічного складу ґрунту і вмісту в ньому гумусу.

### Хід роботи

Загальний запас вологи у ґрунті залежить від декількох величин, основною з яких є вологість. Щоб визначити вологість термостатно-ваговим методом, буром беруть проби ґрунту на відповідних глибинах (до 1 м).

Потім ці проби зважують, висушують у термостаті при температурі 100-105°C до постійної маси.

Вологість ґрунту визначають за формулою:

$$V = \frac{P_v}{P_{gp}} 100, \quad (1)$$

де  $V$  – вологість ґрунту, процент від фактичної маси вологого ґрунту;

$P_v$  – маса води у пробі ґрунту, що випарувалась під час сушіння, г;

$P_{gp}$  – фактична маса вологого ґрунту у пробі, г.

Загальний запас води у ґрунті ( $W$ ) обчислюють за формулою

$$W = 0,1Vdh, \quad (2)$$

де  $d$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;

$h$  – глибина шару ґрунту, см;

0,1 – коефіцієнт переведення запасу вологи з метрів кубічних на 1 га в мм.

Для визначення запасів доступної для рослин вологи від загальних запасів її в ґрунті віднімають недоступну вологу. Динаміка запасів

вологи у кореневмістному шарі ґрунту визначається водним балансом. Витратну частину водного балансу можна записати у вигляді:

$$\Sigma \text{водоспоживання} = KU_{\text{пр}}, \quad (3)$$

де  $\Sigma$  – загальне (сумарне) водоспоживання культури, враховує витрати на транспірацію та випаровування з поверхні ґрунту,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $K$  – коефіцієнт загального (сумарного) водоспоживання культури,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;  $U_{\text{пр}}$  – урожайність продукції,  $\text{т}/\text{га}$ .

*Надходження вологи за водним балансом складається:*

1) з атмосферних опадів

$$10\mu A, \quad (4)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт використання атмосферних опадів, залежить від місцевості (для Лісостепової зони України в середньому становить 0,65 – 0,70);  $A$  – середньобогаторічна кількість атмосферних опадів за вегетаційний період,  $\text{мм}$ ;  $10$  – коефіцієнт для переведення опадів з міліметрів на метри кубічні на  $1\text{га}$ ;

2) із запасів вологи у ґрунті за період вегетації

$$(W_{\text{п}} - W_{\text{к}}) = 100h\alpha (V_{\text{п}} - V_{\text{к}}), \quad (5)$$

де  $W_{\text{п}}$  – запас вологи в ґрунті на початок вегетаційного періоду,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $W_{\text{к}}$  – запас вологи у ґрунті на кінець вегетаційного періоду,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $h$  – глибина кореневмісного шару ґрунту,  $\text{м}$ ;  $\alpha$  – розрахункова об'ємна маса ґрунту,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $V_{\text{п}}$  – вологість ґрунту на початок вегетаційного періоду, процент від маси вологого ґрунту;  $V_{\text{к}}$  – вологість ґрунту на кінець вегетаційного періоду;

3) із запасів вологи у ґрунті ( $W_{\text{Г}}$ ), які надходять капілярним шляхом у верхні шари ґрунту при близькому (менше 3 м) заляганні ґрунтових вод, –  $W_{\text{Г}}$ .

Отже, остаточна формула водного балансу ґрунту має такий вигляд:

$$M = \Sigma - 10\mu A + (W_{\text{п}} - W_{\text{к}}) + W_{\text{Г}}, \quad (6)$$

Приклад розрахунку водного балансу під ярим ячменем в 2004 році в Полтавському районі, Полтавської області. Вираховуємо сумарне водоспоживання ярого ячменю ( $\Sigma_{\text{водосп.}}$ ), коли врожайність його складає  $4\text{ т}/\text{га}$ , коефіцієнт водоспоживання –  $500\text{ м}^3/\text{т}$ , запас вологи в ґрунті на початок вегетаційного періоду ( $W_{\text{п}}$ ) –  $183\text{ мм}$ , запас вологи в ґрунті на кінець вегетації ( $W_{\text{к}}$ ) –  $57\text{ мм}$ , опади за вегетацію  $164,8\text{ мм}$ , коефіцієнт використання атмосферних опадів ( $M$ )  $-0,7$ , глибина залягання ґрунтових вод  $3,5\text{ м}$  ( $W_{\text{Г}} = 0$ ).

*Послідовність розрахунку:*



1. Визначається сумарне водоспоживання ячменю ярого протягом вегетації (за формулою 3):

$$\Sigma \text{ водосп.} = 500 \text{ м}^3/\text{Г} \times 4 = 2000 \text{ м}^3/\text{Га}^3 = 200 \text{ мм.}$$

2. Вираховується надходження вологи в ґрунт за рахунок опадів (формула 4):

$$10\mu A = 10 \times 0,7 \times 164,8 = 115,36 \text{ мм.}$$

3. Баланс вологи в ґрунті за вегетацію ячменю ярого (6).

$$M = 200 - 115,36 + (183 - 57) + 0 = + 41,36 \text{ мм.}$$

Тобто в ґрунті був надлишок вологи (41,36 мм) для вирощування ячменю ярого.

Регулюють надлишок агротехнічними заходами або осушенням. В нашому прикладі можна застосовувати агротехнічні заходи.

Всі розрахунки занесені в таблицю 7.1.

Таблиця 7.1

### Розрахунок балансу вологи в ґрунті

Роки	Строки вегетаційного періоду	Тривалість вегетаційного періоду	Запаси продуктивної вологи (мм) в 0-100 см		Спожито вологи з ґрунту (Wn - Wk), мм	Опади за вегетацію, мм	Надходження вологи в ґрунт за рахунок опадів (10μa), мм	Сумарне водоспоживання (водний баланс) 10μA + (Wп - Wк), мм	Баланс вологи в ґрунті за вегетацію ячменю ярого, мм	Надлишок (нестача) вологи в ґрунті, мм
			на день сівби (Wn)	на період повної стиглості (Wk)						
2006	16.04 – 18.07	99	183	57	126	164,8	115,36	200	41,36	41,36
2007	6.04 – 22.07	103	167	49		162,3				
2008	8.04 – 14.07	97	150	48		193				

### Питання для самоконтролю:

1. Форми вологи в ґрунті.
2. Як визначається вологість ґрунту?
3. Водний баланс ґрунту, його визначення.
4. Як визначається вологість в'янення?
5. Визначення запасів доступної або продуктивної вологи в ґрунті.
6. Способи регулювання водного режиму.

# ДОДАТКИ

**1. Середньомісячні та річні значення сумарної ФАР, кДж/см<sup>2</sup>  
(за даними Гойса М. І., Перелет М. О., 1985)**

Зона, область	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	За рік	За період з t <sup>0</sup> вище °С	
									+10	+5
Степ	23,88	32,68	34,35	35,61	30,58	22,62	14,24	237,57	167,60	192,75
Дніпропетровська	23,04	31,84	33,93	34,77	30,16	21,78	13,40	230,86	159,22	188,55
Донецька	23,46	31,84	33,52	35,19	30,16	21,36	13,40	234,28	159,22	184,56
Запорізька	23,86	32,26	34,35	36,03	30,58	22,62	14,24	237,15	167,60	192,74
Кіровоградська	22,62	31,42	33,10	33,93	28,49	21,36	12,98	225,00	159,22	180,17
Миколаївська	23,46	32,26	33,52	36,45	30,16	22,66	14,24	235,47	167,60	192,74
Одеська	24,30	33,52	34,35	35,61	31,00	23,46	14,66	246,37	171,79	196,93
Херсонська	24,30	33,92	35,19	39,45	31,84	24,30	15,08	246,37	175,98	205,31
Автономна республіка Крим	22,97	34,35	36,45	37,29	32,68	24,72	16,34	258,10	188,55	217,88
Лісостеп	22,20	30,16	32,26	32,68	28,91	20,11	11,73	217,88	146,65	171,70
Вінницька	22,62	31,00	33,10	33,52	36,87	20,53	12,57	223,32	150,84	173,98
Київська	22,20	30,16	32,26	32,26	27,23	19,27	11,31	212,43	116,65	171,79
<b>Полтавська</b>	<b>22,20</b>	<b>30,58</b>	<b>31,84</b>	<b>33,52</b>	<b>28,07</b>	<b>20,11</b>	<b>11,31</b>	<b>216,62</b>	<b>150,84</b>	<b>171,79</b>
Сумська	21,36	29,33	30,58	31,42	26,81	18,85	10,47	205,72	138,27	159,22
Тернопільська	22,20	29,33	31,84	32,26	27,93	20,11	12,15	216,20	146,65	171,79
Харківська	22,20	31,00	33,10	33,52	28,91	20,53	11,75	227,09	150,84	171,79
Черкаська	22,62	31,42	33,00	33,52	28,91	20,95	12,15	223,42	150,81	175,98
Чернівецька	21,36	28,49	30,58	31,84	27,23	20,11	12,57	218,29	146,65	167,60
Полісся	21,36	28,91	31,80	31,42	26,81	18,85	11,73	209,50	142,46	167,60
Волинська	21,36	28,91	31,84	30,16	25,97	18,43	10,89	201,80	142,46	167,60
Житомирська	20,95	29,33	31,80	31,42	26,81	18,43	10,89	206,58	142,46	163,41
Івано-Франківська	20,95	28,07	28,91	30,58	26,39	18,85	12,85	210,33	134,08	159,20
Львівська	21,78	28,91	31,42	31,42	27,23	19,27	12,15	213,27	142,46	163,41
Рівненська	21,36	29,33	31,84	31,42	26,39	18,43	11,31	208,24	142,46	167,60
Чернігівська	21,36	24,33	31,00	31,42	26,87	18,43	10,05	205,31	138,22	163,41

## 2. Вихідні дані для програмування урожаю

Культура	Калорійність абсолютно сухої речовини, КДж/т	Транспірацій ний коефіцієнт	Продукція	
			Основна	Побічна
Пшениця озима	18,646	300-450	Зерно	Солома
Жито озиме	18,436	350-450	“	“
Ячмінь ярий	18,520	300-450	“	“
Овес	18,436	375-475	“	“
Просо	19,274	200-300	“	“
Гречка	19,023	400-550	“	“
Рис	18,143	400-600	“	“
Сорго	18,017	180-250	“	“
Тритикале	18,520	350-450	“	“
Кукурудза	17,179	230-300	“	“
Горох	19,735	300-500	“	“
Соняшник	18,646	300-450	Насіння	Листостебельна маса
Льон-довгунець	19,274	400-500	Насіння	Солома
Цукровий буряк	17,724	300-450	Коренеплоди	Гичка
Кормові коренеплоди	16,132	300-500	Коренеплоди	Гичка
Картопля	18,017	300-500	Бульби	Бадилля

### 3. Показники стандартної вологості основної продукції сільськогосподарських культур

Культура	Вологість основної продукції сільськогосподарських культур, %
Зернові культури (зерно)	14
Цукровий буряк(коренеплоди)	80
Картопля (бульби)	80
Соняшник (насіння)	8-10
Багаторічні трави (сіно)	16
Багаторічні трави (насіння)	12-13
Кукурудза на зелений корм	70
Огірки (плоди)	95
Помідори (плоди)	92
Цибуля (цибулини)	85
Капуста (качани)	90

### 4. Співвідношення основної і побічної продукції окремих сільськогосподарських культур

Культура	Побічна продукція	Співвідношення основної продукції і побічної
Пшениця озима	Солома + полова	I : 1,2 - 1,35
Жито озиме	"-	I : 1,60
Ячмінь	"-	I : 1,1-1,45
Овес	"-	I : 1,35
Просо	"-	I : 1,10
Гречка	"-	I : 1,35
Горох, соя, боби	"-	I : 1,40
Кукурудза на зерно	Стебла	I : 1,35
Соняшник	Кошки	I : 4,00
Цукровий буряк	Гичка	I : 0,40
Кормовий буряк	"-	I : 0,45
Картопля	Бадилля	I : 0,6
Капуста	Листя	I : 0,2
Помідори	Бадилля	1 : 0,7
Цибуля	-	I : 0,3
Огірки	Бадилля;	I : 0,5
Люцерна на насіння	-	I : 31

**5. Коефіцієнти водовикористання ( $K_w$ ) польових культур, м<sup>3</sup>/т  
(узагальнені дані)**

Культура	Рік за характером зволоженості		
	вологий	середній	посушливий
Озима пшениця	350-450	450-500	500-525
Озиме жито	400-425	425-450	450-550
Яра пшениця	400-435	435-465	465-500
Ячмінь	375-425	435-500	500-530
Овес	435-480	480-530	530-590
Кукурудза (зерно)	250-275	275-300	300-325
Картопля	150-175	175-200	200-225
Цукровий буряк	80-100	100-120	120-140
Кукурудза (силос)	80-90	90-95	95-105
Вико-овес	100-110	110-120	120-130
Багаторічні трави (сіно)	500-550	550-600	600-700
Льон (соломка + насіння)	240-250	250-300	300-370
Коноплі (соломка)	520-530	530-600	600-650
Баштанні	100-170	170-200	200-220
Просо	220-250	250-270	270-290
Гречка	350-400	400-450	450-500

## 6. Місячна та річна кількість опадів на території України, мм

Місто	Місяць												
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Сума за рік
Чернігів	31	32	32	39	48	60	67	62	44	39	48	37	553
Суми	31	26	29	37	48	64	76	64	41	44	43	37	540
Луцьк	26	27	29	35	53	77	78	71	49	40	35	33	553
Рівне	29	29	30	34	52	67	77	72	47	42	40	32	551
Харків	30	36	33	38	48	68	65	51	34	44	42	39	528
Івано-Франківськ	26	25	28	45	63	88	93	80	49	41	37	28	603
Чернівці	29	30	34	52	69	86	90	71	54	44	35	30	624
Кіровоград	28	26	24	35	45	65	69	49	36	36	33	33	474
Житомир	32	29	31	38	53	66	78	75	50	41	43	34	570
Київ	39	38	41	45	56	72	74	66	46	44	48	41	610
Львів	35	38	48	64	89	99	83	52	47	44	44	41	678
Тернопіль	28	28	27	42	61	85	87	73	45	46	38	30	590
<b>Полтава</b>	<b>27</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	<b>34</b>	<b>45</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>54</b>	<b>32</b>	<b>42</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>485</b>
Хмельницький	28	28	28	40	51	73	85	68	51	45	40	28	565
Вінниця	25	26	24	41	59	74	72	69	44	41	37	32	544
Умань	29	30	28	39	55	72	64	55	38	39	36	34	519
Дніпропетровськ	35	29	31	35	46	65	53	40	30	37	37	39	477
Донецьк	32	29	29	37	45	57	57	45	27	37	41	42	478
Луганськ	22	19	24	33	46	55	52	43	31	35	33	26	419
Одеса	28	25	21	26	34	47	95	31	28	35	33	31	374
Миколаїв	28	25	25	29	49	68	43	42	27	33	31	32	422
Херсон	25	21	20	25	37	46	36	33	25	30	28	28	354
Запоріжжя	31	27	26	35	39	57	50	45	30	30	36	37	443
Сімферополь	43	34	33	32	41	65	61	34	36	36	42	44	501

**7. Використання поживних речовин рослинами при низькій, середній та високій забезпеченості ґрунту елементами живлення, %**

Культура	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	До 8мг/100г ґрунту	8-16мг /100г ґрунту	Більше 16мг/100г ґрунту	До 5мг/100г ґрунту	5-10мг/100г ґрунту	10-20мг/100 ґрунту	До 8мг/100г ґрунту	8-10мг/100г ґрунту	10-18мг/100г ґрунту
Озима пшениця	34	25	23	11	9	5	17	13	12
Ярі зернові і кукурудза на силос	25	19	17	10	9	7	20	16	14
Озиме жито	20	16	13	7	6	5	11	10	10
Гречка	16	12	11	7	6	5	19	16	14
Кукурудза на зерно	35	26	24	12	9	8	31	23	19
Цукровий та кормовий буряк	33	30	27	10	9	8	33	30	30
Картопля	21	21	20	9	9	9	33	30	30
Соняшник	38	32	25	23	16	12	75	65	50
Вика (зерно)	36	35	35	9	9	9	11	10	10
Горох	39	39	35	9	9	8	15	12	10
Багаторічні трави (сіно)	19	12	12	8	5	5	17	11	10
Капуста	40	35	28	18	14	11	44	38	22
Огірки	18	17	15	10	9	8	27	21	17
Помідори	34	25	19	6	5	4	38	34	27
Цибуля	35	26	20	7	6	5	39	35	28



## 8. Коефіцієнти використання поживних речовин рослинами з добрив, %

Рік дії	з органічних добрив			з мінеральних добрив		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1-й рік	20-25	25-30	50-60	50-60	15-20	50-60
2-й рік	15	20	10	0	20	20
3-й рік	8	10	10	0	15	10
За ротацію сівозміни	50-55	40-50	60-75	60-70	30-40	70-80

## 9. Винос поживних речовин урожаєм сільгоспкультур (кг) на 1 т основної продукції з урахуванням відповідної кількості побічної продукції

Культура	Продукція	Азот (N)	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Калій (K <sub>2</sub> O)
Пшениця озима	Зерно	32	11	16
Пшениця яра	Зерно	42	11	15
Озиме жито	Зерно	29	12	21
Ярий та озимий ячмінь	Зерно	27	11	16
Кукурудза	Зерно	30	10	26
Овес	Зерно	32	14	28
Просо	Зерно	34	9	29
Сорго	Зерно	37	11	16
Гречка	Зерно	30	15	39
Горох	Зерно	66	15	29
Вика	Зерно	65	14	16
Люпин	Зерно	60	17	33
Соя	Зерно	72	14	20
Льон-довгунець	Насіння, волокно	80 / 80	40 / 26	70 / 95
Коноплі	Насіння, волокно	43 / 200	23 / 62	26 / 100
Соняшник	Насіння	57	29	114
Буряк: цукровий кормовий	Коренеплоди	5,0	1,3	5,0
	Коренеплоди	4,0	1,2	5,0
Картопля	Бульби	5,0	2,2	8,0
Кукурудза	Зелена маса	4,5	1,0	2,8
Вико-овес	“-“	2,0	1,0	4,0
Люпин	“-“	6,0	1,1	3,0
Горох	“-“	7,0	1,5	2,0
Конюшина	Сіно	19	6	15
Люцерна	Сіно	26	6	15
Тимофіївка	Сіно	16	7	24
Природні сіножаті	Сіно	17	7	18

Продовження додатку 9

Капуста	Качани	3,3	1,3	4,4
Помідори	Плоди	3,3	1,1	4,5
ОГІРКИ	Плоди	3,0	1,5	4,5
Цибуля	Цибулини	3,0	1,2	4,0
Овочі (в середньому)	Плоди	3,0	1,5	4,0
Столовий буряк	Коренеплоди	3,0	1,2	4,5
Столова морква	Коренеплоди	3,2	1,0	5,0
Зелений горошок		43	17	22,5
Баштанні: кормові столові		2,9	1,0	5,0
		3,0	1,2	4,5
Однорічні трави	Зелена маса на корм	11,4	1,6	4,8
Однорічні трави	Сіно	20	7	19
Те ж	Зелена маса на силос	3,7	1,5	3,9
Природні сіножаті	Зелена маса	1,5	0,5	2,0
Багаторічні трави	Насіння	20	8	17
Суданка	Зелена маса на корм	2,5	1,1	3,0
Люцерна	Насіння	21,0	5,4	11,0
Тютюн	Листя	24,5	6,6	51,0
Соняшник	На силос	2,9	0,8	6,0
Ячмінь	Зелена маса на корм	4,5	1,8	3,6
Озиме жито	Зелена маса	3,0	2,5	5,0
Кормова капуста	На силос	3,1	1,4	6,1
Еспарцет	Сіно	25	5,0	13

**10. Окупність 1ц діючої речовини мінеральних добрив і 1 тонни органічних добрив урожаєм сільгоспкультур (ц)**

№	Культура	Лісостеп України	
		Органічних	Мінеральних
1.	Озима пшениця	0,25	3,9
2.	Озиме жито	0,25	3,7
3.	Ячмінь	-	4,3
4.	Овес, просо	-	4,0
5.	Зернобобові, гречка	-	2,5
6.	Кукурудза на зерно	0,21	4,9
7.	Цукровий буряк	1,70	30,6
8.	Картопля	1,0	19,3
9.	Соняшник	-	2,0
10	Кукурудза молочно-воскової стиглості і на зел. корм	2,20	30,0
11	Кормовий буряк	2,44	40,0

**11. Поправочні коефіцієнти середніх доз мінеральних добрив на попередник для Лівобережного та Центрального Лісостепу України (за даними Б.С.Носка, 1991)**

Культури, попередник та передпопередник	Поправочні коефіцієнти середніх доз основного добрива		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Цукровий буряк після:			
парової озимини	0,80	0,90	0,90
озимих після багаторічних бобових трав	0,90	1	1
озимих після гороху та однорічних трав	1	1,05	1,05
озимих після кукурудзи на силос	1,10	1,10	1,15
Озима пшениця та жито після:			
чорного пару	0,00	0,40	0,20
однорічних трав	0,40	0,60	0,40
багаторічних бобових трав	0,50	0,75	0,85
гороху	0,60	0,80	0,80
кукурудзи на силос	1,15	1	1
стерньових	1,25	1,20	1,10
Кукурудза на зерно після:			
цукрового буряка	0,90	0,80	0,80
кукурудзи на силос	1	0,85	1
кукурудзи на зерно	1	0,90	1
стерньових	1	1	1
Кукурудза на силос після:			
цукрового буряка	0,80	0,80	0,80
кукурудзи на зерно	0,90	0,90	0,90
стерньових	1	1	1
соняшника	1,10	1	1
Ячмінь та овес на зерно після:			
цукрового буряка	0,70	0,70	0,80
картоплі	0,80	0,80	0,90
кукурудзи на зерно та силос	1	0,90	0,90
стерньових	1	1	1
Горох та інші зернобобові після:			
цукрового буряка	0,60	0,80	0,90
кукурудзи на зерно	0,70	0,80	0,90
кукурудзи на силос	1	1	1
стерньових	1	1	1
Просо після:			
цукрового буряка	0,80	0,90	0,90
кукурудзи на зерно та силос	1	0,90	0,90
стерньових	1	1	1

Гречка після			
цукрового буряка	0,75	0,90	1
картоплі	0,85	0,90	0,90
кукурудзи на зерно та силос	1	1	1
стерньових	1	1	1
Соняшник після:			
кукурудзи на зерно	0,80	1	1,10
кукурудзи на силос	0,90	1	1,10
озимих колосових	1	1	1
ярих колосових	1	1,10	1,20
Картопля після:			
овочевих культур	0,80	1	1,10
озимих колосових	1	1	1
ярих колосових	1	1,10	1,20

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Базова література

1. Землеробство : підручник / І. Д. Примак та ін. Київ : Центр навчальної літератури, 2020. 578 с.
2. Маренич М. М., Веревська О. В., Шкурко В. С. Прогнозування врожайності сільськогосподарських культур. Полтава : СІМОН, 2011. 115 с.
3. Оцінка методичних підходів щодо екологічного обґрунтування застосування добрив під сільськогосподарські культури / за ред. О. В. Харченка, В. І. Прасола. Суми : Університетська книга, 2011. 48 с.
4. Прогноз і програмування врожаїв сільськогосподарських культур : методичні рекомендації для виконання самостійної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти ОПП «Агрономія» спеціальності 201 «Агрономія» денної та заочної форм здобуття вищої освіти / уклад. В. В. Гамаюнова, І. В. Смірнова. Миколаїв : МНАУ, 2022. 32 с.
5. Прогноз і програмування врожаю сільськогосподарських культур : методичні рекомендації для підготовки студентів аграрних та технічних закладів вищої освіти III-IV рівнів акредитації до Всеукраїнської студентської олімпіади / уклад. Д. В. Бабенко, А. В. Дробітько, В. В. Гамаюнова, Н. В. Маркова, Т. М. Манушкіна, І. В. Смірнова, Т. В. Качанова. Миколаїв : МНАУ, 2020. 24 с.
6. Харченко О. В., Петренко Ю. М. Ресурсні рівні врожайності сільськогосподарських культур та їх екологічне оцінювання. Суми : ВВП Мрія, 2017. 56 с.
7. Харченко О. В., Прасол В. І., Кравченко С. М. Агроекономічні і екологічні основи програмування та програмування урожайності сільськогосподарських культур. Суми : Університетська книга, 2013. 237 с.

### Допоміжна література

1. Марченко В., Гузь М., Паар Й. Механізація та технології обробітку ґрунту. Київ : Agroexpert, 2019. 200 с.
2. Адаптивні системи землеробства : підручник / В. П. Гудзь та ін. Київ : Центр навчальної літератури, 2019. 336 с.

### Інформаційні ресурси

1. Національна наукова сільськогосподарська бібліотека НААН : сайт. URL: <http://www.dnsgb.com.ua>.



Навчальне видання

**ПРОГНОЗ І ПРОГРАМУВАННЯ ВРОЖАЇВ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

Методичні рекомендації

Укладачі

**Гамаюнова Валентина Василівна**  
**Смірнова Ірина Вікторівна**

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 4,0.

Тираж 20 прим. Зам. № \_\_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного аграрного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від  
20.02.2013 р.

