

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки до самостійної роботи  
студентів IV курсу  
з дисципліни  
**„Агрометеорологічні розрахунки”**

ОДЕСА 2005

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів IV курсу з дисципліни **„Агрометеорологічні розрахунки”** за спеціальністю „Агрометеорологія” // к.г.н, доцент Божко Л.Ю., к.г.н., ас. Барсукова О.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2005. 48 с.

## Зміст

	Стр.
Передмова.....	4
1 Прогнози запасів продуктивної вологи .....	6
1.1 Розрахунок запасів ґрунтової вологи на початок весни .....	6
1.1.1 Прогноз запасів продуктивної вологи на початок вегетаційного періоду за методом Л.О. Розумової.....	7
1.1.2 Прогноз запасів вологи в ґрунті по глибині його промочування.....	9
1.1.3 Оцінка вологозабезпеченості посівів озимої пшениці по непарових попередниках.....	12
2 Прогноз запасів продуктивної вологи під основними сільськогосподарськими культурами впродовж вегетаційного періоду.....	16
2.1 Прогноз запасів вологи під зерновими культурами.....	16
2.2 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під картоплею.....	22
2.3 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під кукурудзою.....	28
2.4 Прогнози вологозабезпеченості посівів сільськогосподарських культур.....	31
2.4.1 Розрахунок вологозабезпеченості сільськогосподарських культур за сумарним випаровуванням та дефіцитом насичення повітря.....	31
2.4.2 Розрахунок вологозабезпеченості зернових культур.....	32
2.4.3 Розрахунок забезпечення вологою посівів цукрових буряків.....	36
3. Техніка розрахунку прогнозів запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами.....	42
3.1 Техніка розрахунку прогнозу запасів продуктивної вологи на початок весни.....	42
3.2 Техніка розрахунку прогнозу запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами.....	43
Контрольні питання.....	45
Список літератури.....	46

## Передмова

Роль ґрунтової вологи у житті рослин важко переоцінити. Волога потрібна рослинам на протязі всього періоду вегетації. У різні відрізки вегетаційного періоду рослина для нормального розвитку та формування врожаїв потребує різної кількості ґрунтової вологи і споживає її з різних шарів ґрунту.

На стан рослин негативно впливає як нестача вологи у ґрунті, так і її надлишок. Нестача вологи у ґрунті викликає зниження швидкості росту, зменшення формування рослинної маси та зниження врожаю. Надлишок вологи у ґрунті зменшує аерацію, викликає заболочення ґрунтів. У вегетаційний період перезволоження ґрунту при зниженому температурному режимі викликає розвиток хвороб, надмірне збільшення надземної маси, що викликає зменшення врожаю. Крім того, надмірна кількість вологи у ґрунті ускладнює проведення сільськогосподарських робіт.

Вміст вологи у ґрунті не залишається постійним і залежить від типу ґрунту, розвитку рослин, кількості опадів, надходження води внаслідок пересування вологи всередині ґрунту, глибини залягання ґрунтових вод і співвідношенням між корінням і надземною масою рослин.

Вміння визначати запаси продуктивної вологи у ґрунті дає можливість у будь-який час знати її вміст у будь-якому шарі ґрунту. Для цього розроблена ціла низка методів прогнозу запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами.

Мета чинних методичних вказівок – ознайомити студентів з усіма відомими методами розрахунку запасів продуктивної вологи, навчити розраховувати їх кількісні значення під провідними сільськогосподарськими культурами.

Після вивчення теоретичної частини та виконання розрахунків студенти повинні знати:

- теоретичні основи формування запасів продуктивної вологи впродовж року;
  - методи розрахунків запасів продуктивної вологи під різними сільськогосподарськими культурами;
  - методи розрахунку і оцінки вологозабезпеченості посівів у різні фази розвитку рослин;
  - закономірності впливу вологозабезпеченості на формування врожаїв сільськогосподарських культур;
- вміти:
- користуватись синоптичними прогнозами під час виконання розрахунків;

- розраховувати запаси продуктивної вологи та вологозабезпеченість посівів у різні періоди розвитку рослин;
- давати оцінку отриманим результатам розрахунків;
- складати тексти прогнозів запасів продуктивної вологи та вологозабезпеченості.

## Теоретична частина

### 1 Прогнози запасів продуктивної вологи

#### 1.1 Розрахунок запасів ґрунтової вологи на початок весни

Волога є одним із факторів життя рослин, який нічим замінити не можливо. Використовуючи велику кількість води із тканин на транспірацію, рослини повинні постійно поповнювати ці витрати. Надходження води в тканини рослин відбувається через коріння. Тому ґрунт є головним постачальником води і мінерального живлення рослин.

Інтенсивність надходження води в рослини залежить від кількості доступної для них води у ґрунті (продуктивної вологи).

Кількість вологи, яка може утримуватись ґрунтом у польових умовах, визначається властивостями його. Механічним складом, структурою, кількістю органічної речовини та глибиною залягання ґрунтових вод.

Розрізняють три межі вологомісткості: 1) повна вологомісткість – найбільша кількість води, що утримується в ґрунті, коли всі пори зайняті водою і водне дзеркало виходе на поверхню ґрунту; 2) максимальна капілярна вологомісткість – та кількість води, яку може утримувати шар ґрунту 10 см над вільною водною поверхнею через капілярне підняття; 3) найменша вологомісткість – та кількість води, яку ґрунт утримує в умовах глибокого залягання ґрунтових вод.

Запаси вологи у ґрунті постійно змінюються. Поповнення запасів вологи у ґрунті в основному відбувається взимку. Це поповнення залежить від пересування води всередині ґрунту та проникнення у ґрунт опадів і талих вод у період відлиг. Поповнення ґрунтової вологи у різних ґрунтово-кліматичних зонах різне. Це викликає необхідність прогнозу запасів вологи на початок весни. У південних районах країни запаси продуктивної вологи в ґрунті на весну мають чи не найбільше вирішальне значення у господарській діяльності працівників полів. Складність визначення вологозапасів примушує шукати шляхи, які дозволяли б виконувати розрахунки для великих територій. Дослідження закономірностей зміни запасів продуктивної вологи в холодну пору року виконували А.В. Процеров, Л.О. Разумова, І.В. Свісюк [1 – 5, 15]. На разі відомо два методи розрахунку очікуваних запасів продуктивної вологи: 1 – за сумою опадів за холодну пору року і 2 – за глибиною промочування ґрунту (ГПГ) на початок весни.

### 1.1.1 Прогноз запасів продуктивної вологи на початок вегетаційного періоду за методом Л.О. Разумової

Л.О. Разумовою виконані фундаментальні дослідження процесів динаміки ґрунтової вологи в холодну пору року [1– 3]. Вона встановила, що збільшення запасів вологи навесні залежить головним чином від кількості опадів за період від переходу температури повітря через 5° С восени до переходу її через 5° С навесні та насичення ґрунту вологою восени. Ці дослідження підтвердили також інші автори [2, 3, 4]. Нестача насичення ( $\Delta W$ ) вологою ґрунту восени визначається як залишок між найменшою вологомісткістю (НВ) та запасами продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на дату останнього визначення запасів вологи восени ( $W$ ):

$$\Delta W = HB - W \quad (1.1)$$

Для розрахунку очікуваних запасів продуктивної вологи на початок весни Л.О. Разумовою отримані статистичні залежності між сумарними змінами запасів вологи за осінньо-зимово-весняний період ( $y$ ), кількістю опадів, які випали за цей же період ( $x$ ), та нестачею насичення ґрунту вологою ( $\Delta W$ ). Статистичні залежності встановлені для районів з стійкою зимою і глибоким заляганням ґрунтових вод (1.2) та районів з нестійкою зимою і глибоким заляганням ґрунтових вод (1.3):

$$Y = 0,21x + 0,62\Delta W - 33 \quad (1.2)$$

$$Y = 0,112x + 0,56\Delta W - 20 \quad (1.3)$$

де  $Y$  – зміна запасів продуктивної вологи за холодну пору року, мм;  
 $x$  – сума опадів за цей же період, мм;  
 $\Delta W$  – нестача вологи в ґрунті восени, мм (визначається з формули (1.1)).

На Європейській частині країн СНД до зони із стійкою зимою та малим збагаченням ґрунту вологою взимку відносяться південно-східні райони; до зони з нестійкою зимою, де збільшення запасів вологи відбувається за рахунок талих вод під час відлиг, відносяться південні та південно-західні області ЄЧ СНД. В районах, де спостерігаються як стійкі, так і нестійкі зими, розрахунки виконуються за вказаними формулами з врахуванням характеру зими; при стійкій зимі розрахунки виконуються за формулою (1.2), при нестійкій – за формулою (1.3).

У зв'язку з потеплінням клімату (підвищення річної температури на 0,5° С) кількість районів з нестійкою зимою збільшується.

Розрахунок очікуваних запасів вологи на весну виконується за даними усіх станцій, які знаходяться на території обслуговування, або де визначаються запаси вологи під озимими зерновими культурами, які посіяні по пару або непарових попередниках і на зябу, який відводиться для сівби ярих зернових культур. Початковими даними для розрахунків будуть значення осінніх запасів вологи на цих полях. Кількість опадів, необхідних для розрахунку, складається з двох величин: фактичної суми опадів, які випали від дати переходу температури повітря через 5° С восени до дати складання прогнозу (січень – лютий), та прогнозованої суми опадів від дати складання прогнозу до дати переходу температури повітря через 5° С навесні. Якщо ж з будь-якої причини прогнозом скористуватись неможливо, то у цьому випадку використовують середні багаторічні значення опадів із кліматичних довідників, але обов'язково з врахуванням можливої аномалії опадів. Значення найменшої вологомісткості, яка необхідна для визначення дефіциту насичення ґрунту восени, враховується за даними агрогідрологічного обстеження полів або за середніми даними: найменша вологомісткість суглинків становить 170 – 190 мм, супіщаних ґрунтів – 150 – 170 мм, піщаних – 80 – 120 мм.

При складанні прогнозу розрахунки зміни запасів вологи за холодну пору року виконуються за формулами (1.2 – 1.3).

*Приклад.* Розрахувати очікувані запаси продуктивної вологи на ст. Полтава. Дата складання прогнозу 1 лютого.

Для розрахунків необхідні початкові величини:

1 – дата останнього визначення запасів вологи восени на полях з озимими культурами – 28 жовтня;

2 – найменша вологомісткість (НВ) в районі Полтави становить – 160 мм;

3 – середня добова температура повітря перейшла через 0° С – 13 листопада;

4 – запаси вологи становили у метровому шарі ґрунту 83 мм.

Розраховані величини:

1 – нестача насичення ґрунту вологою становить (за формулою 1.1):  
 $160 \text{ мм} - 83 \text{ мм} = 77 \text{ мм}$ ;

2 – кількість опадів від дати останнього визначення вологості ґрунту до 1 лютого підраховується по матеріалах спостережень за декадними сумами опадів і в нашому випадку вона становить 87 мм. Від першого лютого до дати переходу температури повітря через 5° С навесні сума опадів визначається з синоптичного прогнозу погоди. В нашому випадку дата переходу температури повітря через 5° С навесні буде 5 квітня. Тобто підраховується сума опадів від 1 лютого до 5 квітня. В нашому випадку вона становить 43 мм. Загальна сума опадів від дати останнього визначення запасів вологи до дати переходу температури повітря через 5° С навесні становить 130 мм;



З – за рівнянням (1.2) розраховується зміна запасів вологи за осінньо-зимово-весняний період. Зміна запасів у нашому випадку становить 44 мм. Таким чином, очікувані на весну запаси вологи розраховуються як сума запасів вологи на останнє визначення восени та зміна запасів за холодну пору року ( $83 + 44 = 127$  мм), що становить приблизно 78 % від значення НВ.

В районах, де взимку відбувається значний перерозподіл снігу на полях через сильні вітри, прогноз запасів вологи на весну складається з врахунок запасів води у снігу. Запаси води в снігу ( $W_c$ ) розраховуються за даними середньої висоти снігу, яка визначається з даних снігомірної зйомки, що проводиться перед складанням прогнозу, за формулою:

$$W_c = 10 \cdot h \cdot d \quad (1.4)$$

де  $h$  – середня висота снігу, см;

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

$W_c$  – запас води в снігу, мм.

Техніка складання прогнозу запасів продуктивної вологи на початок весни для великих територій (областей, регіонів, економічних районів) зводиться до визначення середнього арифметичного значення усіх елементів, необхідних для складання прогнозу по всіх станціях території, для якої складається прогноз. При цьому, окремо підраховуються очікувані запаси вологи під озимими культурами і окремо по зябу. Розраховані величини запасів продуктивної вологи на початок весни порівнюються з середніми багаторічними значеннями запасів продуктивної вологи та з НВ.

На підставі встановлених Л.О. Разумовою закономірностей були розроблені прогностичні рівняння для розрахунку запасів вологи на весну для Вірменії Р.С. Мкртчяном [6] та для Новосибірської області Є.Г. Рудичевою [7].

### 1.1.2 Прогноз запасів вологи в ґрунті по глибині його промочування

Теоретична основа прогнозу запасів продуктивної вологи в ґрунті по глибині його промочування розроблена І.В. Свісюком [5] на підставі закономірностей, встановлених А.А. Роде [8]. І.В. Свісюком розроблено метод для степових районів недостатнього зволоження з глибоким заляганням ґрунтових вод. В цих районах після збирання сільськогосподарських культур в ґрунтовому профілі залишається дуже мало вологи (до 10 – 30 мм в шарі ґрунту 0 – 100 см). Розподіляється вона,

як правило, рівномірно по всьому ґрунтовому профілю. Це пов'язано з особливостями її споживання корінням рослин.

Зволоження ґрунту за рахунок осінньо-зимових опадів відбувається поступово від шару до шару; спочатку зволожується верхній шар, потім, після його насичення до НВ, волога починає проникати в нижній шар, також насичуючи його до рівня НВ. Таке поступове зволоження шарів ґрунту спостерігається впродовж всього осінньо-зимового періоду за рахунок опадів. Поступове зволоження ґрунту невеликими порціями опадів сприяє порівняно рівномірному його промочуванню. Від однієї і тієї ж кількості опадів промочування більше на легких та менше на більш важких ґрунтах. Різні ґрунти мають різний рівень НВ, який з глибиною зменшується під впливом тиску верхніх шарів. На важких ґрунтах це зменшення йде швидше, на легких – повільніше [6, 7]. Крім того, на НВ впливає вміст гумусу та солонцюватість ґрунтів. Збільшення вмісту гумусу збільшує НВ у ґрунтовому профілі і, навпаки, збільшення солонцюватості зменшує НВ. На цих закономірностях, а також на відомостях по НВ у кожному 10-ти сантиметровому шарі, і розроблено метод визначення кількості продуктивної вологи у промоченому шарі ґрунту. Значення НВ, як і інших показників агрогідрологічних властивостей ґрунту, визначаються на кожній з агрометеорологічних станцій.

При визначенні агрогідрологічних властивостей ґрунту НВ вимірюється до глибини 100 см по 10-сантиметрових шарах. Ці дані і використовуються для розрахунку запасів вологи на весну за даними фактичного значення глибини промочування ґрунту (ГПГ), або по тому що прогнозується. Для більшої точності прогнозу перед розрахунками необхідно визначити розміри площ з різними ґрунтами, значення НВ кожного типу ґрунту та розрахувати середньозважене значення НВ для всього району, для якого прогноуються запаси вологи.

Щоб виконувати подальші розрахунки необхідно:

1. Побудувати карту значень НВ з врахуванням змін в залежності від солонцюватості ґрунту та вмісту гумусу для всієї території, яка обслуговується.

2. Виконати групування ґрунтів за значеннями НВ для шару ґрунту 1 – 100 см. При групуванні значення округляти за загальними математичними законами округлення цифр. Розрахунки І.В. Свісюка для території Північного Кавказу показали, що значення НВ кожного 10-сантиметрового шару має добру кореляцію з глибиною залягання шарів.

3. По карті ґрунтів району обслуговування визначаються відсотки площ з різними ґрунтами, потім розраховуються НВ кожного з ґрунтів та середньозважене значення НВ по району. Якщо розрахунки виконуються для окремого господарства, то вони виконуються за тією ж схемою.

4. Підраховуються суми опадів за вересень – березень (х), за вересень – жовтень (у) та знаходиться їх відношення (с).

5. Знаходиться сума негативних температур за зиму (листопад – березень,  $T$ ).

6. Із щорічників випикується ГПГ за минулий рік та визначається її середнє значення по району ( $q$ )

7. Складається прогноз ГПГ у поточному році за рівнянням:

$$ГПГ = 47,31 = 0,00046x - 0,037T - 0,779c = 0,504q \quad (1.5)$$

При розрахунках запасів вологи за значенням ГПГ навесні необхідно враховувати, що на початок визначення ГПГ ще не вся волога встигає проникнути в ґрунт і частина її залишається у ґрунтовогому профілі понад НВ. У подальшому ця волога дещо збільшить ГПГ. Якщо ГПГ менше 70 см, то подальшого збільшення вже не буде. Якщо ГПГ навесні більше 70 см, то вона збільшується в середньому на 10 %. Наприклад, при глибині промочування ґрунту 90 см поправка становить 9 см, при ГПГ 120 см – поправка складає 12 см.

За значеннями ГПГ прогнозуються запаси вологи під озимими по непарових попередниках та по зябу. Для визначення запасів вологи на полях з озимими культурами, посіяними по пару, ГПГ розраховується за рівнянням:

$$ГПГ^* = 1,21ГПГ + 27 \quad (1.6)$$

де ГПГ\* – ГПГ на початок весни на полях з озиминою, посіяною по пару;

ГПГ – глибина промочування на початок весни на озимих по непарових попередниках

В районах, де ГПГ буває менше 100 см, або в роки, коли ГПГ у вологих районах внаслідок несприятливих умов також менше 100 см, та в роки з неглибоким промерзанням ґрунту і слабкою цементацією мерзлого шару ГПГ визначається в залежності від кількості опадів ( $x$ ) за холодну пору року (листопад – березень). Рівняння зв'язку має вигляд:

$$ГПГ^{**} = 0,35x + 19 \quad (1.7)$$

Для розрахунків ГПГ\*\* використовується табл. 1.1.

Запаси продуктивної вологи навесні зручно розраховувати за рис. 1.1 або табл. 1.2. Табл. 1.2 побудована для діапазону значень НВ від 150 до 160 мм. Якщо значення НВ інші, то таблиця для них розраховується окремо.

Після закінчення розрахунків визначаються відсотки площі з різним значенням запасів продуктивної вологи на весну та складається текст прогнозу.

Таблиця 1.1 – Очікувана ГПГ в залежності від суми опадів за період з 1 листопада до 31 березня

Кількість опадів, мм	ГПГ, см	Кількість опадів, мм	ГПГ, см
10	22	160	75
20	26	170	78
30	30	180	82
40	33	190	86
50	37	200	89
60	40	210	92
70	44	220	96
80	47	230	99
90	50	240	103
100	54	250	107
110	58	260	110
120	61	270	114
130	64	280	117
140	68	290	120
150	72	300	124

Таблиця. 1.2 – Необхідна кількість продуктивної вологи (мм) для промочування різних шарів ґрунту

Найменша вологомісткість шару ґрунту 0-100, см	Шари ґрунту, см					
	0-50	0-60	0-70	0-80	0-90	0-100
150	80,6	95,4	109,7	123,6	137,6	150,0
152	81,3	96,5	111,0	125,1	138,8	152,0
154	82,4	97,6	112,3	126,7	140,6	154,0
156	83,3	98,7	113,6	128,2	142,2	156,0
158	84,2	99,8	115,0	129,8	144,2	158,0
160	85,2	101,0	116,4	131,4	145,9	160,0

### 1.1.3 Оцінка вологозабезпеченості посівів озимої пшениці по непарових попередниках

Для вирішення питання про можливість початку сівби озимих культур по непарових попередниках деякі автори [8, 9] пропонують використовувати необхідний максимум опадів за передпосівний період.

Так, П.Г. Кабанов [9] за такий мінімум приймає 50 мм опадів за липень, серпень. І.В. Свісюк пропонує дещо меншу суму опадів – 30 мм за місяць до початку сівби.

Кількість опадів за передпосівний період ( $x$ ) також використовується для розрахування запасів вологи в шарі 0 – 20 см по непарових попередниках на початок сівби ( $y$ ). Рівняння для розрахунку:

$$y = -0,0014x + 0,45x^2 - 3,0 \quad (1.8)$$
$$S_y = \pm 3,1 \text{ мм}$$

де  $x$  – кількість опадів (мм) за місяць до початку сівби.

Для зручності розрахунків запасів продуктивної вологи на початок передпосівного періоду підготовлена табл. 1.3.

Метод, запропонований І.В. Свісюком [4], дає добру справджуваність навіть у випадках, коли волога на початок передпосівного місяця майже відсутня (менше 5 мм у шарі 0 – 20 см), тобто, коли за візуальним визначенням ґрунт взагалі сухий.

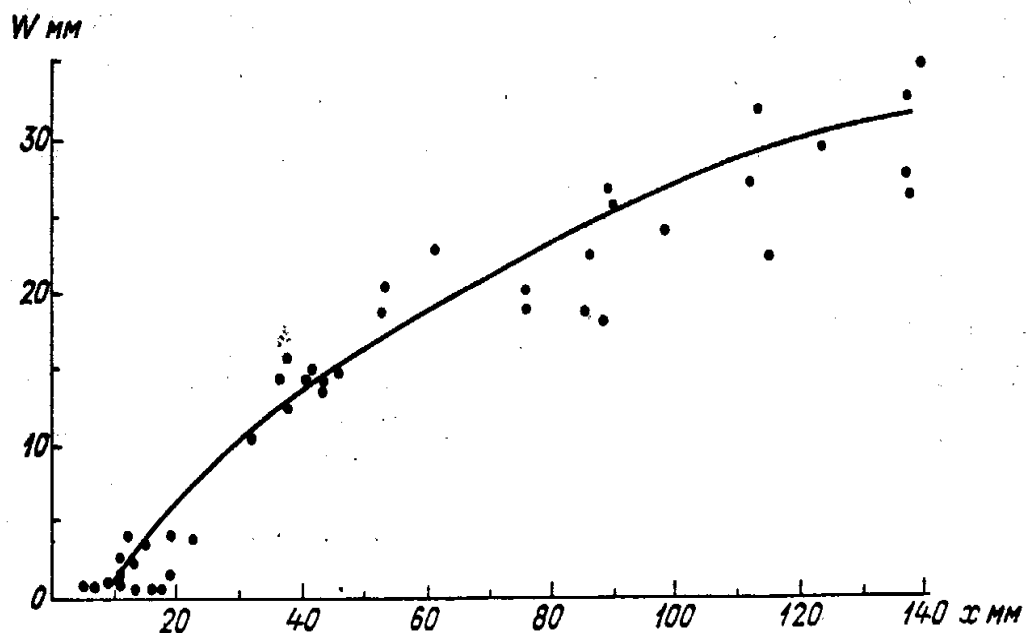


Рис. 1.1 – Залежність запасів продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 – 20 см на полях, підготовлених до сівби озимої пшениці по непарових попередниках, від кількості опадів за передпосівний місяць.

Таблиця. 1.3 – Оцінка запасів води в шарі ґрунту і сходів в залежності від кількості опадів, які випали в передпосівний місяць на підготовлене під посів озимої пшениці непарове поле

Кількість опадів, мм	Запаси продуктивної води в шарі ґрунту 0-20 см, мм	Оцінка запасів води, бали	Оцінка сходів, бали
10 – 19	0 – 5	1(дуже погані)	0 (сходи не з'являються)
20 – 30	6 – 10	2(погані)	2(сходи сильно зріджені)
31 – 65	11 – 20	3(задовільні)	3 (сходи слабо зріджені)
66 – 90	21 – 25	4(добрі)	4 (сходи добрі)
>90	26 – 35	5(відмінні)	5 (сходи відмінні)

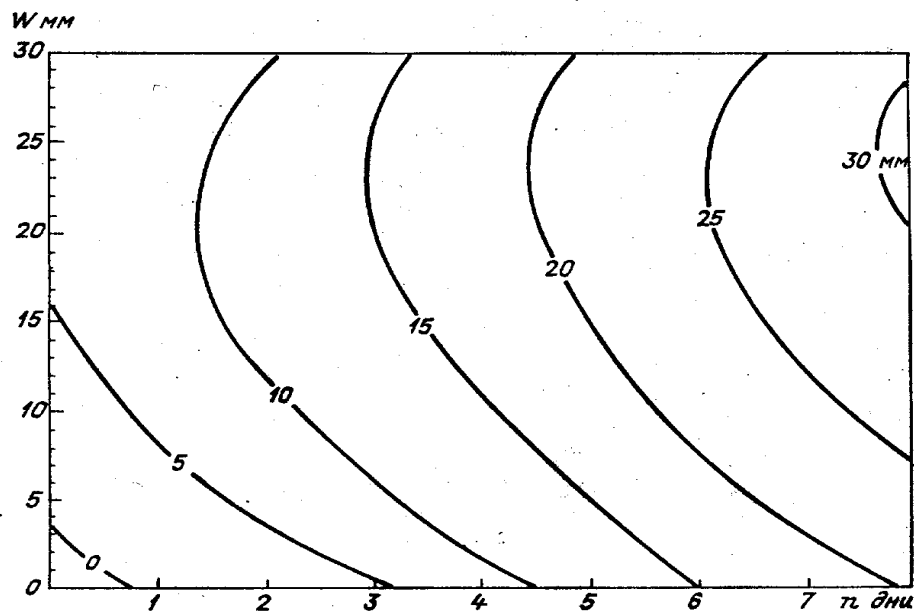


Рис.1.2 – Залежність запасів води (мм) у шарі ґрунту 0 – 20 см у передпосівний період по непарових попередниках озимої пшениці від кількості днів з опадами 5 мм і більше за два передпосівні місяці та запасів води у тому ж шарі за місяць до початку сівби.

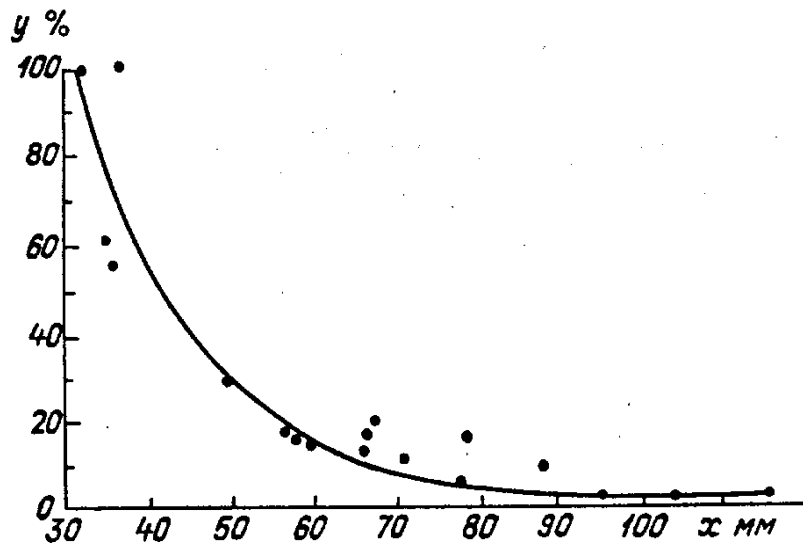


Рис. 1.3 – Зв'язок між кількістю опадів, що випали у передпосівний та післяпосівний місяці (x) та площею поганих та тих, що не зійшли восени, озимих по непарових попередниках

При збільшенні залишкових запасів вологи на початок передпосівного періоду мінімум опадів, який забезпечить задовільні сходи, може бути нижчий ніж 30 мм. Тому розрахунок запасів вологи виконується не тільки за сумою опадів (x), а і за залишковими запасами продуктивної вологи ( $W_3$ ). Для цього використовуються залежності С.О. Веріго або рівняння, запропоноване І.В.Свісюком:

$$Y = 3,03x - 0,015W_3^2 + 0,72W - 2,4, \quad (1.9)$$

а також рис. 1.2.

І.В. Свісюком також встановлено, що існує тісний зв'язок між величиною площі поганих посівів або тих, що не зійшли, з кількістю опадів за передпосівний та після посівний місяці (рис. 1.3).

В несприятливі за зволоженням передпосівні періоди сівба насіння в сухий ґрунт не проводиться бо це викликає великі втрати.

## 2 Прогноз запасів продуктивної вологи під основними сільськогосподарськими культурами впродовж вегетаційного періоду

Впродовж вегетації сільськогосподарських культур на витрати запасів вологи впливають не тільки погодні умови, але міра заглиблення і характер розвитку коріння, а також розміри надземної маси рослин. Це призводить до того, що швидкість витрат ґрунтової вологи у вегетаційний період рослин дуже змінюється. В районах, де ґрунтові води знаходяться глибоко і капілярний підтік відсутній, найбільша кількість вологи витрачається через транспірацію із шару ґрунту, де розташоване коріння. Витрати сягають найбільших значень у репродуктивний період [1 – 8, 21].

### 2.1 Прогноз запасів вологи під зерновими культурами

С.О. Веріго запропонувала кількісну закономірність зміни ( $\Delta W$ ) запасів продуктивної вологи під озимими і ярими зерновими культурами в залежності від метеорологічних факторів:

$$\Delta W = aW_i + br - ct + d \quad (2.1)$$

де  $W_1$  – початкові запаси продуктивної вологи, мм ;

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

$r$  – сума опадів за декаду, мм.

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

На підставі цієї закономірності С.О. Веріго було розроблено метод прогнозу запасів продуктивної вологи під ярою та озимою пшеницею.

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

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

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

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

3 – формування зерна (після цвітіння).

Для цих трьох періодів були встановлені залежності зміни запасів продуктивної вологи від запасів вологи на початок розрахункового періоду, суми опадів за цей же період та середньої температури повітря. Найдоцільніше розрахунки проводити за декадними даними вказаних



величин. Залежності одержані окремо для чорноземних та підзолистих ґрунтів.

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

Розрахунок зміни запасів продуктивної вологи під зерновими культурами виконується за рівнянням (2.1), а числові коефіцієнти наводяться у табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  рівняння (2.1)

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

Для прискорення розрахунків побудовані графіки (2.1 а, б, в). На рис. 2.1 на осі  $x$  – запаси вологи на початку декади, на осі  $y$  – сума опадів за декаду, для якої виконується розрахунок; у полі графіків – зміна запасів продуктивної вологи за декаду. До кожного графіка додається таблиця поправок на температуру повітря. Очікувані запаси продуктивної вологи ( $W_2$ ) становлять суму запасів вологи на початок декади ( $W_n$ ) та зміну їх, зняту з графіка з поправкою на температуру, тобто:

$$W_2 = W_n + \Delta y(\pm \Delta t) \quad (2.2)$$

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

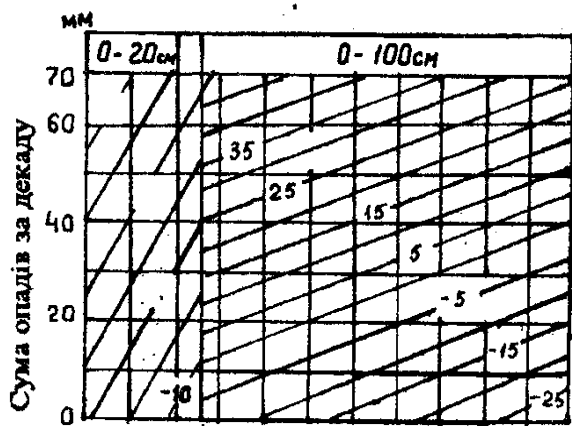
Розрахунок очікуваних запасів вологи виконується послідовно для кожної декади розвитку. Для цього розраховані запаси вологи за поточну декаду приймаються за початкові для наступної декади. Температура повітря та опади використовуються за ту декаду, для якої ведуться розрахунки.

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

Очікувані запаси продуктивної вологи під озимомою пшеницею розраховуються за рівняннями табл. 2.2, або графіками С.О. Веріго (рис. 2.2 а, б, в, г).

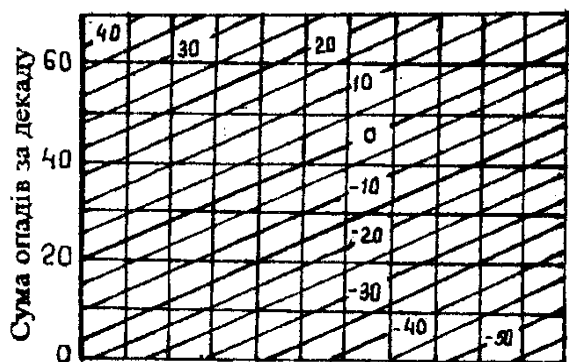
Таблиця 2.2 – Рівняння залежності зміни запасів продуктивної вологи у ґрунті під озимомою пшеницею від метеорологічних величин

Зона	Період	Шар ґрунту, см	Рівняння
Чорноземні ґрунти	Весняне відростання	0-20 0-100	$W_2 = -0,70 t + 0,26r - 0,25W_1 + 7,4$ $W_2 = -1,12 t + 0,74r - 0,23W_1 + 27,7$
	Формування колосу і цвіту	0-100	$W_2 = 0,05 t + 0,90r - 0,07W_1 - 26,7$
	Формування Зерна	0-100	$W_2 = -0,64 t + 0,40r - 0,20W_1 + 7,4$
	Підзолисті ґрунти	Весняне відростання	0-20 0-100
Підзолисті ґрунти	Формування колосу	0-100	$W_2 = -0,73 t + 1,10r - 0,09W_1 - 11,4$
	Формування Зерна	0-100	$W_2 = -0,32 t + 0,80r - 0,035W_1 - 15,4$



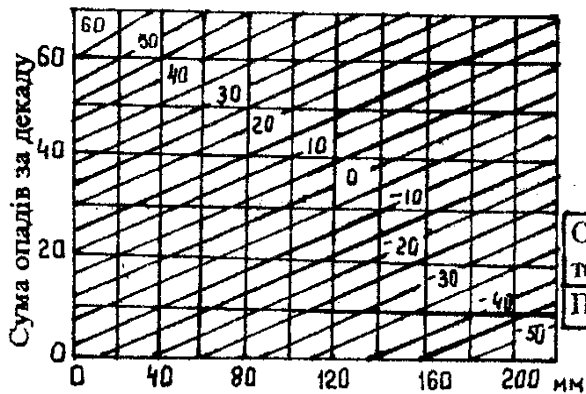
Поправка на температуру (а)

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



Поправка на температуру (б)

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

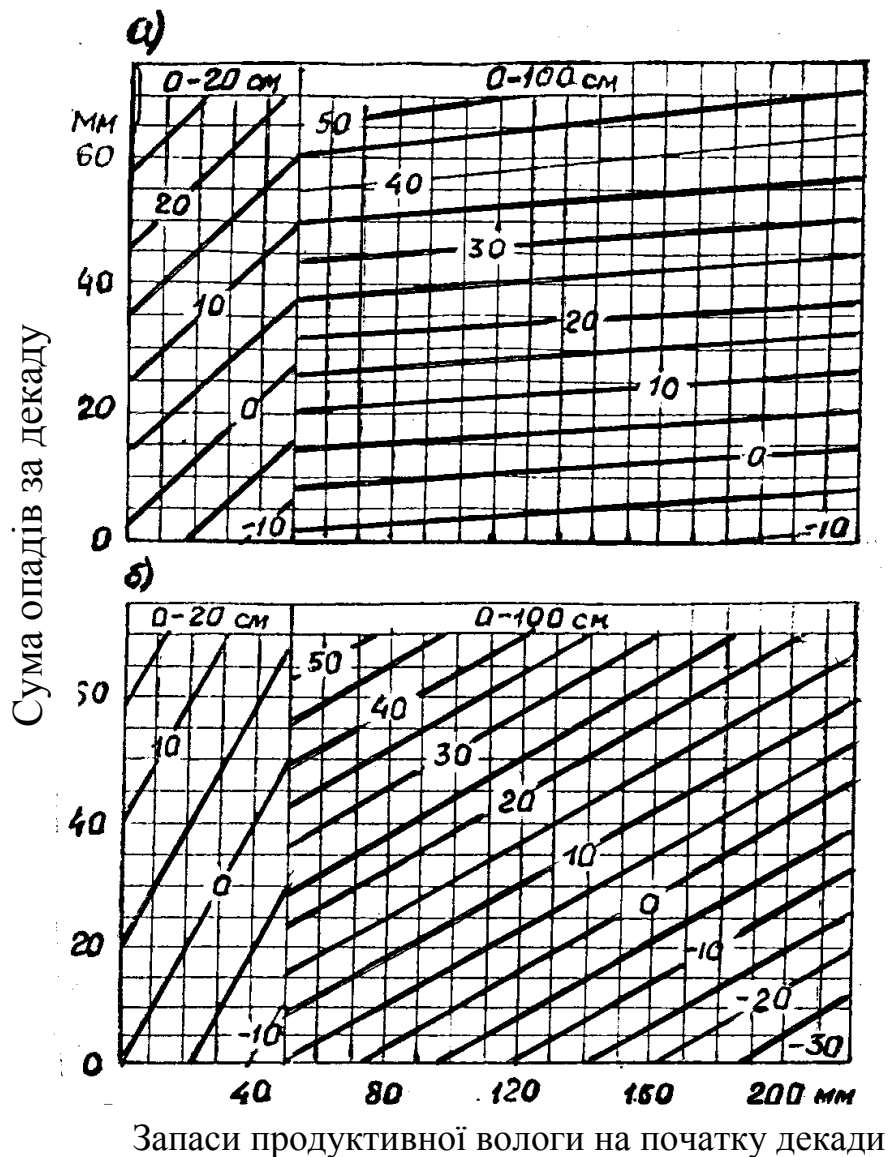


Поправка на температуру (в)

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

Рис. 2.1 – Зміна запасів продуктивної вологи у зоні чорноземних ґрунтів під ярою пшеницею:

- а) від сівби до виходу у трубку;
- б) від виходу у трубку до цвітіння;
- в) після цвітіння.



Поправка на температуру (а)

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

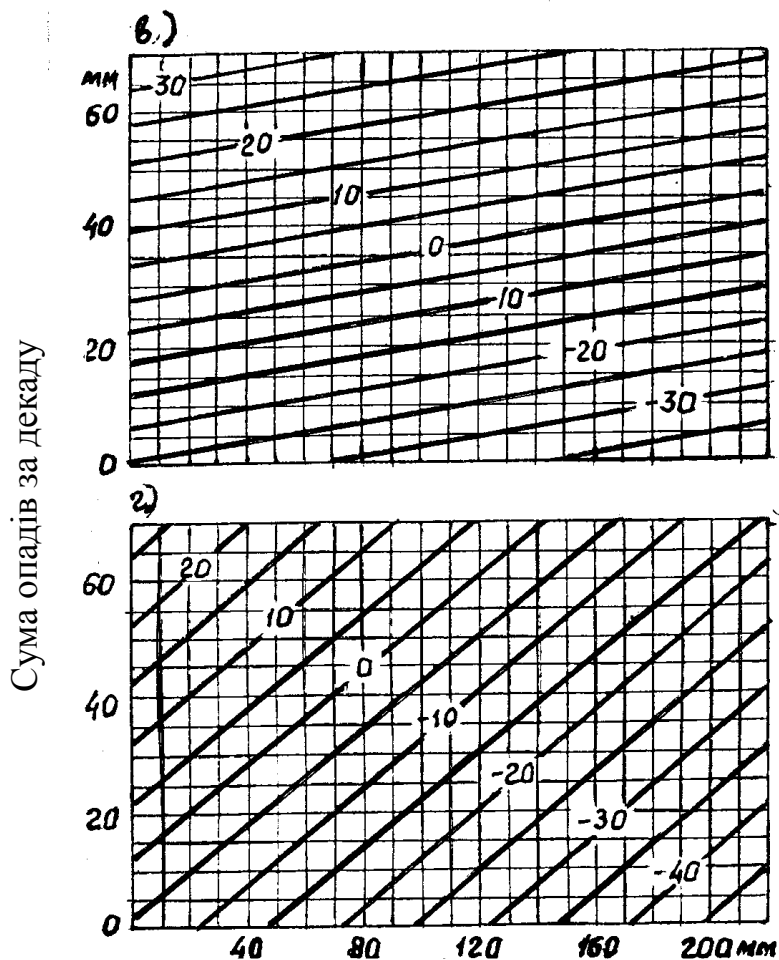
Поправка на температуру (б)

Середня за декаду температура повітря, °С	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	1	0	-1	-2

Рис. 2.2 (а, б) – Зміна запасів продуктивної вологи під озимою пшеницею у зоні чорноземних ґрунтів (мм за декаду):

а – період осінньої вегетації;

б – період весняного відростання.



Запаси продуктивної вологи на початку декади

**Поправка на температуру (в)**

Середня за декаду температура повітря, °С	3-7	8-12	13-17	18-22
Поправка (мм)	-1	0	1	2

**Поправка на температуру (г)**

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

Рис. 2.2 (в, г) – Зміна запасів продуктивної вологи під озимою пшеницею у зоні чорноземних ґрунтів (мм за декаду):

в – період формування колосу і квіток;

г – період формування зерна.

## 2.2 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під картоплею

Метод розроблено С.Б.Мостинською [21, 22] на основі тих же закономірностей, які були встановлені С.О. Веріго. Цей метод враховує особливості коріння картоплі не проникати глибоко у ґрунт, а розповсюджуватись у верхньому шарі та на впливі температури повітря ( $t$ ), опадів ( $r$ ) та зволоження ґрунту в попередню декаду ( $W_1$ ) на зміну запасів вологи у подальшому.

Таблиця 2.3 – Рівняння зміни запасів продуктивної вологи під картоплею та травами

### *Чорноземна зона*

Період Розвитку	Шар ґрунту, см	Рівняння зв'язку
<i>Картопля</i>		
1. Період формування сходів	0-20	$y = 0,01 t + 0,24r - 0,42w + 6,5$
	0-50	$y = 0,21 t + 0,34r - 0,29w + 14,6$
	0-100	$y = 0,22 t + 0,56r - 0,18w + 5,0$
2. Період утворення бокових пагонів	0-20	$y = -0,26 t + 0,24r - 0,45w + 8,5$
	0-50	$y = 0,45 t + 0,45r - 0,21w + 5,6$
	0-100	$y = -0,38 t + 0,88r - 0,22w - 12,8$
3. Період бутонізації	0-20	$y = -0,24 t + 0,40r - 0,84w + 2,4$
	0-50	$y = -0,26 t + 0,75r - 0,24w - 2,3$
	0-100	$y = 0,58 t + 0,57r - 0,23w + 14,3$
4. Період цвітіння	0-20	$y = -0,62 t + 0,31r - 0,37w + 11,9$
	0-50	$y = -0,85 t + 0,54r - 0,24w + 14,3$
	0-100	$y = -0,94 t + 0,72r - 0,10w + 7,8$
<i>Люцерна</i>		
1. Ранній весняний період (від початку вегетації до встановлення $T + 15^\circ C$ )	0-100	$y = 1,8 t + 0,70r - 0,06w + 4,05$
2. Період перші три декади	0-100	$y = -1,10 t + 1,06r - 0,1w - 5,8$
3. Період формування другого укусу (IV–VI декади після переходу температури повітря через $+15^\circ C$ )	0-100	$y = -0,6 t + 0,73r - 0,21w + 5,3$
4. Період після другого укусу до кінця вегетації	0-100	$y = -1,1 t + 0,83r - 0,16w + 11,7$

Особливості розвитку картоплі враховані в тому, що рівняння для розрахунку запасів вологи розроблені для чотирьох міжфазних періодів (табл. 2.3).

За цими рівняннями побудовані графіки (рис. 2.3 а, б, в; 2.4 а, б, в; 2.5 а, б, в, г), на яких на осі  $x$  – запаси продуктивної вологи на початку декади, на осі  $y$  – сума опадів за декаду, для якої проводяться розрахунки. У полі графіка (2.3 а, б, в, г) зміна запасів вологи за декаду. Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею розраховуються аналогічно як і для зернових за формулою (2.1).

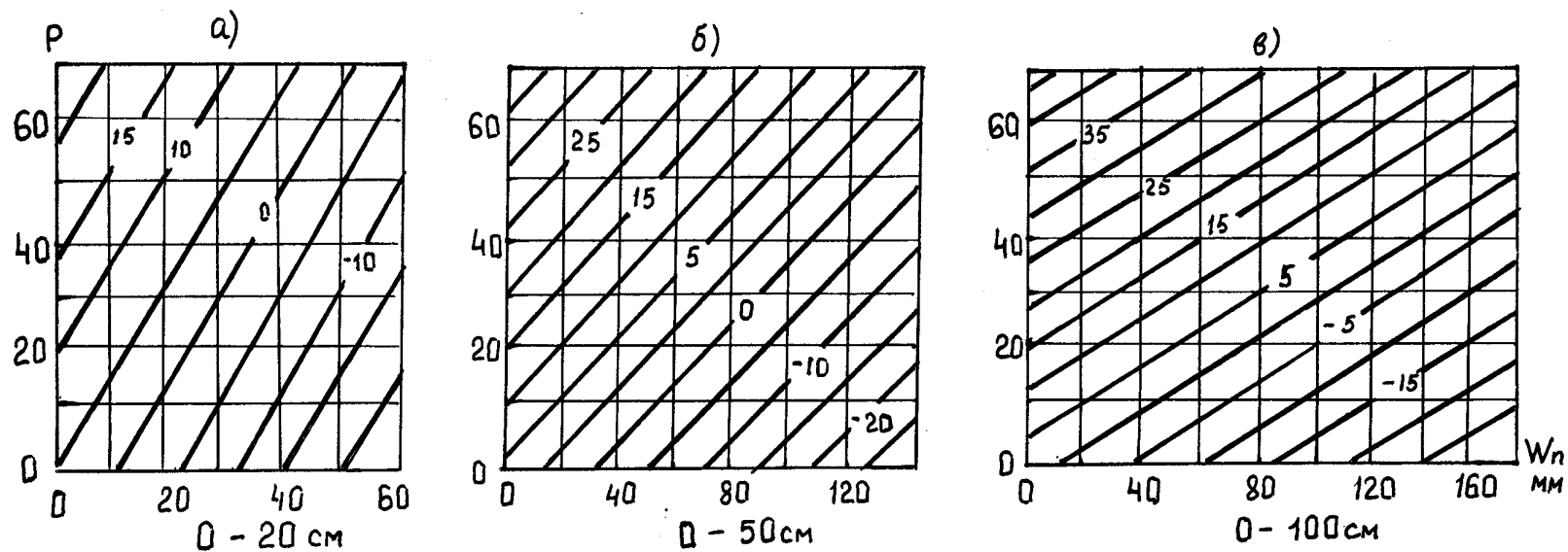
Розрахунок зміни запасів вологи під картоплею потребує відомостей про фази розвитку картоплі (сходів, утворення бокових пагонів, бутонізації і цвітіння). Дати настання вказаних фаз розраховуються за сумами активних температур (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Суми температур по міжфазних періодах розвитку картоплі

Фон добрив	Сівба - сходи	Сходи - бутонізація	Бутонізація - Цвітіння	Цвітіння - в'янення картоплиння
<i>Ранньостиглі сорти</i>				
високий	320	350	200	350
середній	400	350	200	600
<i>Середньостиглі сорти</i>				
високий	320	450	200	1000
середній	400	450	200	700
<i>Пізнньостиглі сорти</i>				
високий	320	500	200	1100
Середній	400	500	200	800

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

Зміна запасів вологи під конюшиною та люцерною розраховується за графіками (2.6 а, б – від відновлення вегетації до 1-го укусу; 2.6 в, г – від першого укусу до припинення вегетації).



Поправка на температуру

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

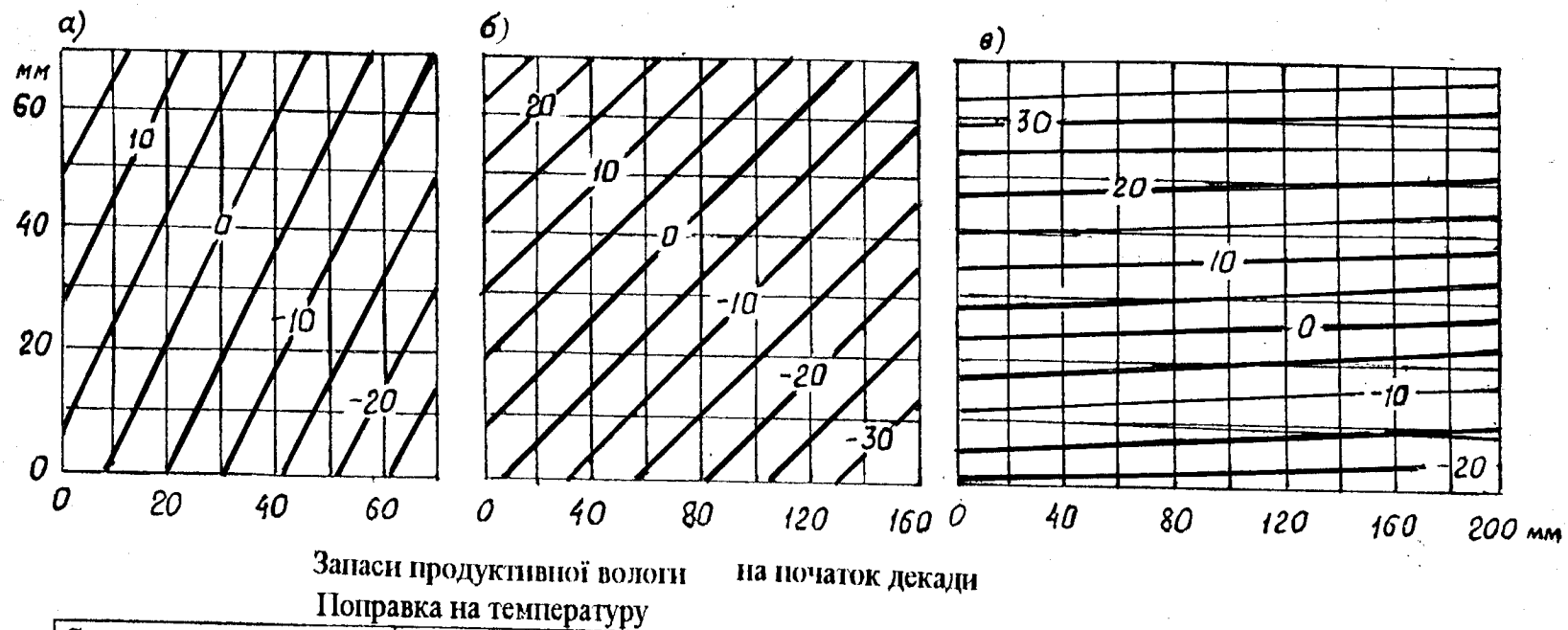
Рис. 2.3 – Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею у період формування сходів:

а – у шарі ґрунту 0 – 20 см;

б – у шарі ґрунту 0 – 50 см;

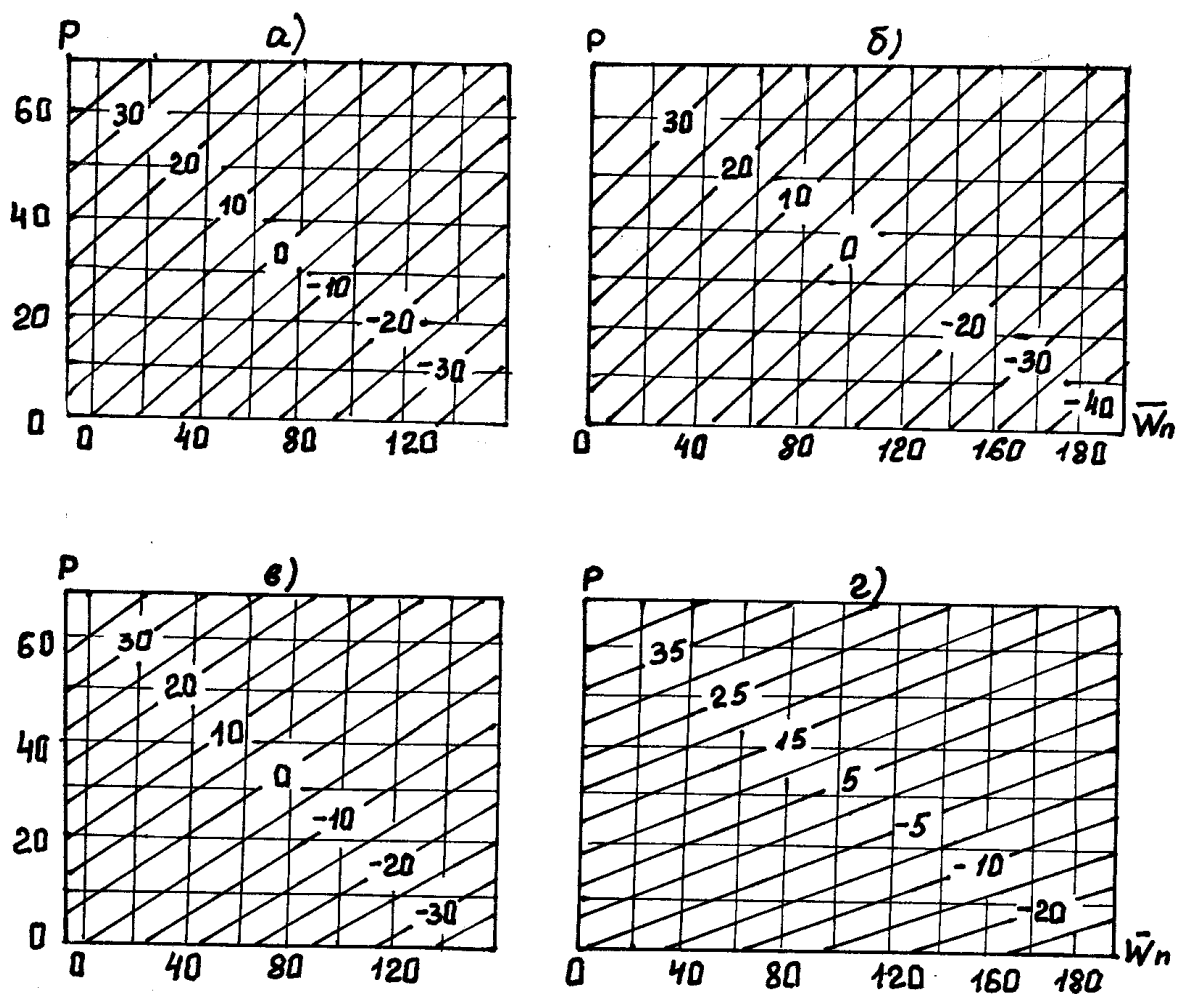
в – у шарі ґрунту 0 – 100 см.





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

Рис. 2.4 – Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею у період формування бокових пагонів (а, б, в – позначки ті ж, що на рис. 5.3).



Поправка на температуру (а,б)

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

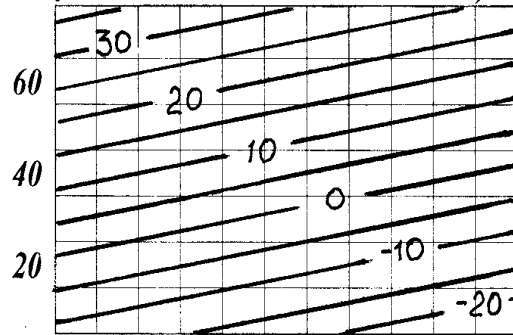
Поправка на температуру (в,г)

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

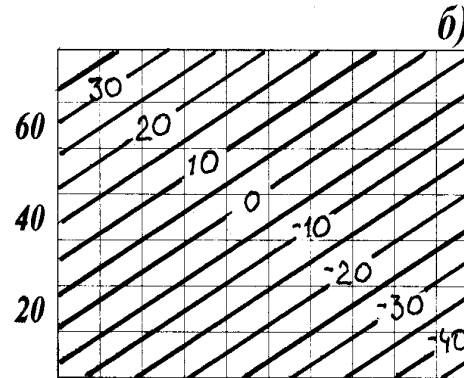
Рис. 2.5 – Зміна запасів продуктивної вологи під картоплею у період утворення суцвіть та цвітіння:

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

$\Sigma R$  за декаду



а)

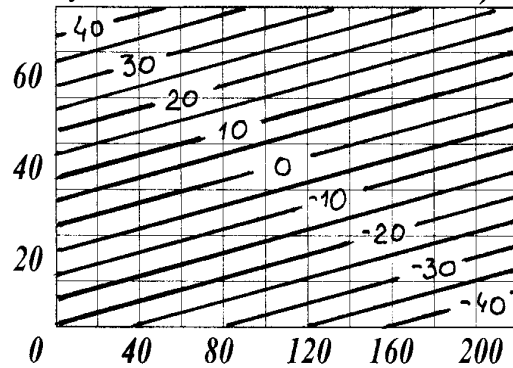


б)

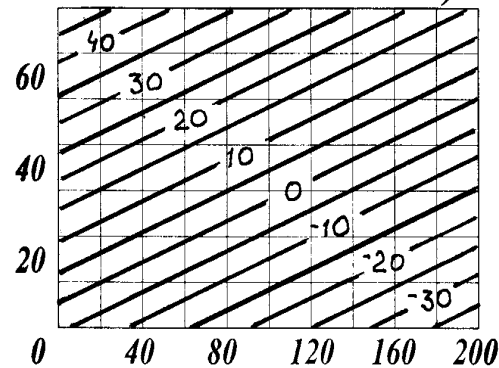
Поправка на температуру а, б

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

$\Sigma R$  за декаду



в)



г)

Поправка на температуру в, г

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

Запаси продуктивної вологи на початку декади, мм

Рис. 2.6 а, б, в, г – Зміна запасів продуктивної вологи під люцерною у шарі ґрунту 0 – 100 см:  
 а – у період середньої за добу температури повітря від 5°C до 15°C;  
 б – за перші три декади після переходу температури повітря через 15°C;  
 в – за четверту, п'яту та шосту декади після переходу температури повітря через 15°C;  
 г – до кінця вегетації.

### 2.3 Метод прогнозу запасів продуктивної вологи під кукурудзою

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

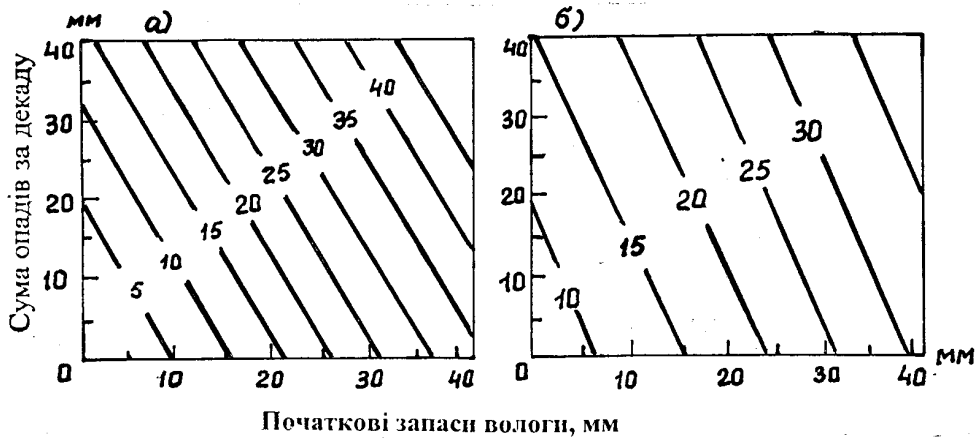
Головні особливості розвитку коріння кукурудзи обумовлені біологією культури. Коріння розташовується головним чином у верхніх шарах ґрунту (до 50 см.) Тому Ю.І. Чирковим [23] були розроблені рівняння (табл. 2.5) та побудовані графіки для розрахунку зміни запасів вологи у шарах 0-20 см та 0-50 см (2.7 а, б; 2.8, 2.9)

На рис. 2.7 – 2.9 на осі  $x$  – значення запасів вологи на початок розрахунку;  $y$  – сума опадів за декаду. У полі графіка очікувані зміни запасів вологи. На визначену величину зміни запасів вводиться поправка на температуру повітря відповідно до періоду розвитку кукурудзи.

Подібні залежності отримані для овочевих культур (баклажанів, солодкого перцю, томатів і круп'яних культур).

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  для розрахунку запасів вологи під кукурудзою

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



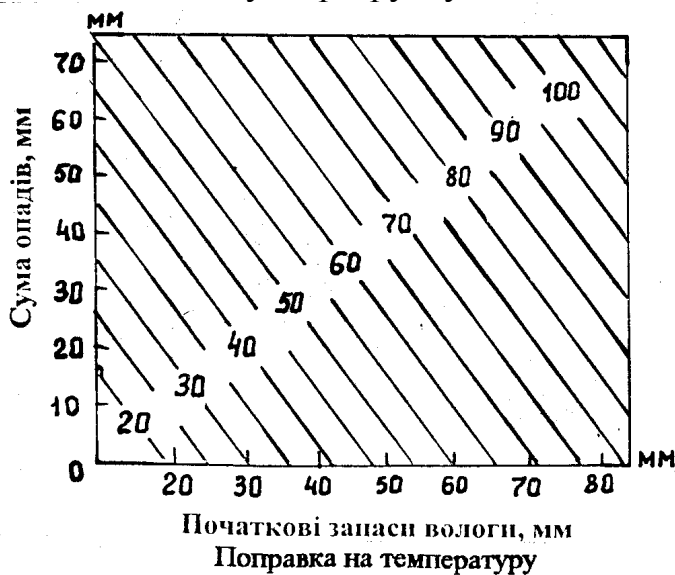
Поправка на температуру (а)

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

Поправка на температуру (б)

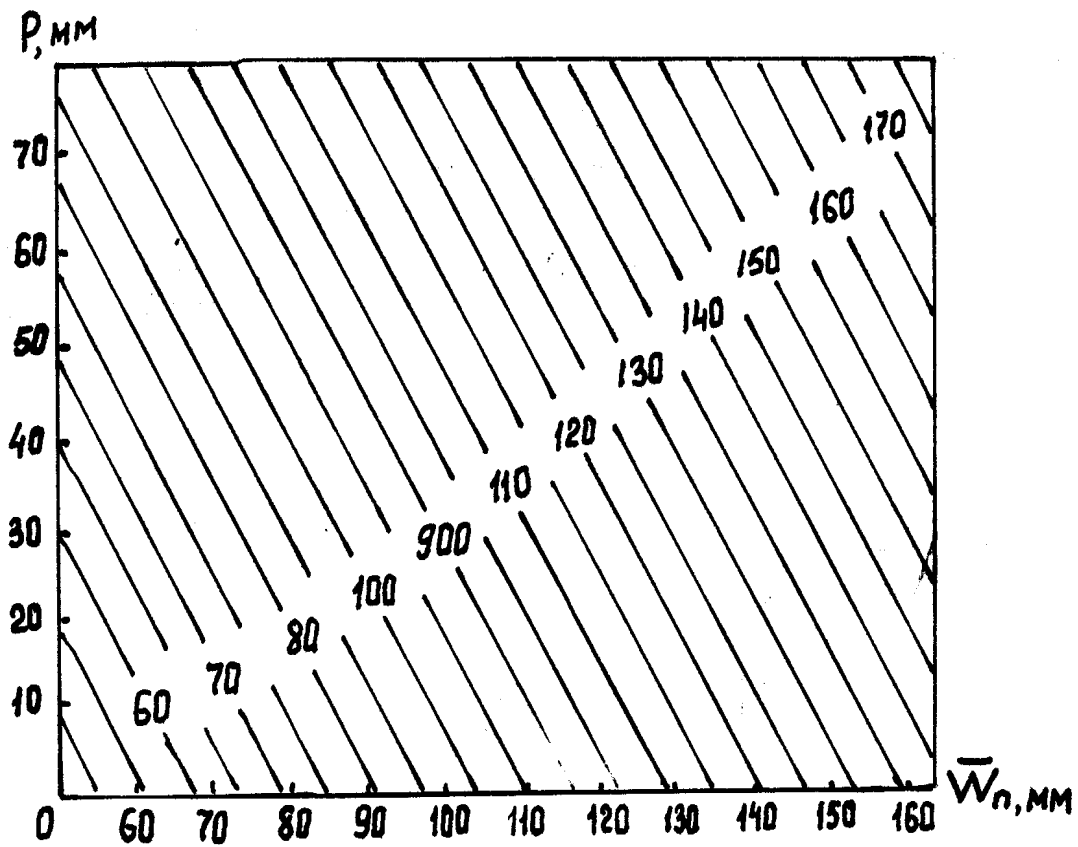
Середня за декаду температура повітря, °C	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Поправка (мм)	4,0	3,2	2,4	1,6	0,8	0	-0,8	-1,6	-2,4

Рис.2.7 – Розрахунок запасів продуктивної вологи під кукурудзою у період від сходів до появи 10 листка:  
 а – у шарі ґрунту 0 – 20 см;  
 б – у шарі ґрунту 0 – 50 см.



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

Рис. 2.8 – Розрахунок запасів продуктивної вологи під кукурудзою у період від 10 листка до викидання волоті у шарі ґрунту 0 – 50 см.



Поправка на температуру

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

Рис. 2.9 – Розрахунок запасів продуктивної вологи у шарі 0 – 50 см під кукурудзою у період від викидання волоті до воскової стиглості.

## 2.4 Прогнози вологозабезпеченості посівів сільськогосподарських культур

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

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

Оцінкою вологозабезпеченості посівів займались багато дослідників: О.В. Процеров, О.С. Конторщикова, О.М. Конторщикова [15, 16 – 19] та ін. Це дозволило розробити цілу низку методів, що дозволяють виконувати оцінку вологозабезпеченості сільськогосподарських культур в районах недостатнього та нестійкого зволоження. Такі оцінки дуже часто використовуються при прогнозуванні врожаїв сільськогосподарських культур.

Вологозабезпеченість посівів – це міра забезпечення потреб рослин у воді в природних умовах. Вона може бути виражена через запаси продуктивної вологи у відсотках від найменшої вологомісткості, у відсотках від середніх багаторічних запасів продуктивної вологи, через суму опадів у відсотках від середньої багаторічної, у відносних одиницях через випарування та випаровуваність а також у відсотках через ті ж величини [17 – 19, 22].

### 2.4.1 Розрахунок вологозабезпеченості сільськогосподарських культур за сумарним випаровуванням та дефіцитом насичення повітря

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

$$V = \frac{E_{\phi}}{E_o} \cdot 100 \quad (2.3)$$

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

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

$$E_{\phi} = (W_1 + x) - W_2 \quad (2.4)$$

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

$x$  – сума опадів за декаду.

Випаровування в оптимальних умовах зволоження – випаровуваність можна розраховувати за будь-яким методом. В агрометеорології найчастіше використовується метод А.М. Алпатєва [11]. Він запропонував випаровуваність ( $E_o$ ) розраховувати через сумарний дефіцит насичення повітря ( $d$ ) з врахуванням коефіцієнтів біологічної кривої водоспоживання ( $K$ ):

$$E_o = K \cdot \Sigma d \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнтів біологічної кривої споживання різне для різних сільськогосподарських культур і також може бути різним для однієї і тієї ж культури в різних ґрунтово-кліматичних зонах.

#### 2.4.2 Розрахунок вологозабезпеченості зернових культур

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

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

Для розрахунків забезпечення вологою зернових культур необхідні такі матеріали: дати наступу фаз розвитку, фактичну та очікувану за прогнозом температуру повітря, фактичні та очікувані за прогнозом суми опадів, дефіцит насичення повітря та запаси продуктивної вологи на кінець кожної декади. Якщо запаси вологи не визначались, то вони розраховуються за рівнянням:

$$W_2 = (W_1 + x) - E \quad (2.6)$$



де  $W_1$  та  $W_2$  – запаси продуктивної вологи на початок та кінець декади, для якої виконуються розрахунки, мм відповідно;  
 $x$  – сума опадів за декаду, мм.

Для зручності використання цих формул для ярої пшениці були побудовані графіки для визначення очікуваних запасів продуктивної вологи та сумарного випаровування для трьох періодів вегетації: сівба – вихід у трубку, вихід у трубку – цвітіння, цвітіння – воскова стиглість (рис. 2.10 а, б, в). За цими рисунками одночасно визначаються запаси продуктивної вологи на кінець декади та сумарне випаровування. На рис.5.10 на осі абсцис - значення температури повітря,  $t^{\circ}\text{C}$ . На осі ординат – сумарне випаровування, ( $E_{\phi}$ ) мм; у полі графіка криві, які відповідають сумі запасів вологи на початок декади і опадів за декаду, ( $W + x$ ), мм.

Для складання прогнозу вологозабезпеченості посівів зернових культур необхідно мати синоптичний прогноз температури повітря, опадів та дефіциту насичення повітря. Але дефіцит насичення не прогнозується. Тому О.В. Процеров запропонував прогнозовану величину дефіциту насичення розраховувати через відхилення від норми температури повітря (табл. 2.6).

Для користування таблицею необхідно спочатку розрахувати у відсотках відхилення температури повітря від середнього багаторічного її значення і потім визначити відхилення дефіциту насичення у відсотках від його середньої багаторічної величини і визначити очікуване його значення у мм.

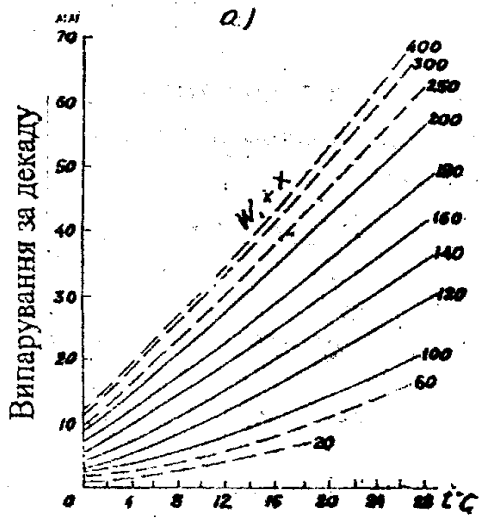
Таблиця 2.6 – Співвідношення відхилень температури повітря та дефіциту насичення повітря від норми

Елементи	Відхилення від норми (%)			
	±10	±20	±30	±40
Температура повітря	±10	±20	±30	±40
Дефіцит температури повітря	±15	±30	±45	±60

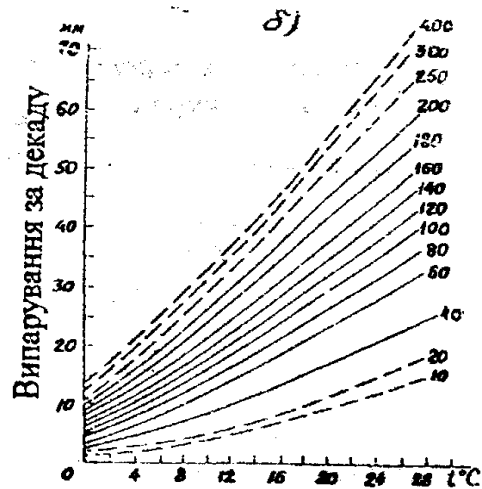
Якщо температура повітря очікується близько норми, то і дефіцит насичення теж буде близько норми.

Забезпечення рослин вологою розраховується по декадах періоду вегетації культури, а потім середня величина за період розраховується як середня арифметична.

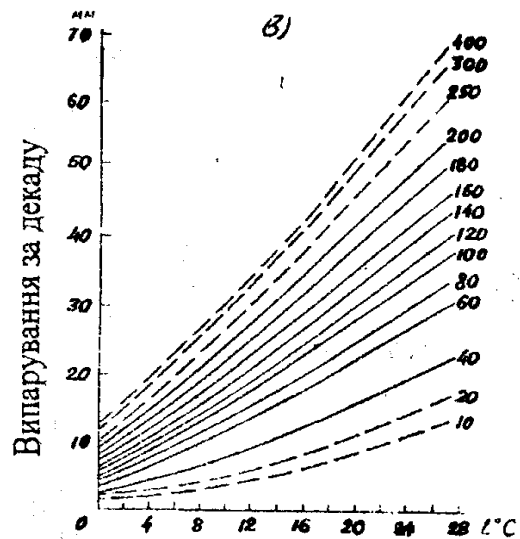
С.О. Веріго розраховувала оцінку агрометеорологічних умов формування врожаю в залежності від забезпечення рослин вологою (рис. 2.11).



Середні декадні температури повітря



Середні декадні температури повітря



Середні декадні температури повітря

Рис. 2.10 – Сумарне випаровування за декаду ( $E_{\phi}$ ) на полях ярої пшениці в залежності від початкових запасів продуктивної вологи ( $W_1$ ), опадів за декаду ( $x$ ) та середньої температури повітря ( $t$ ):

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

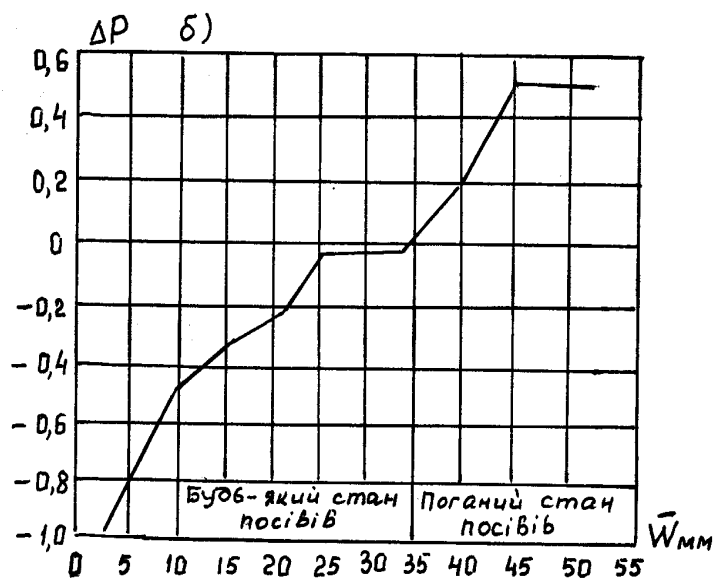
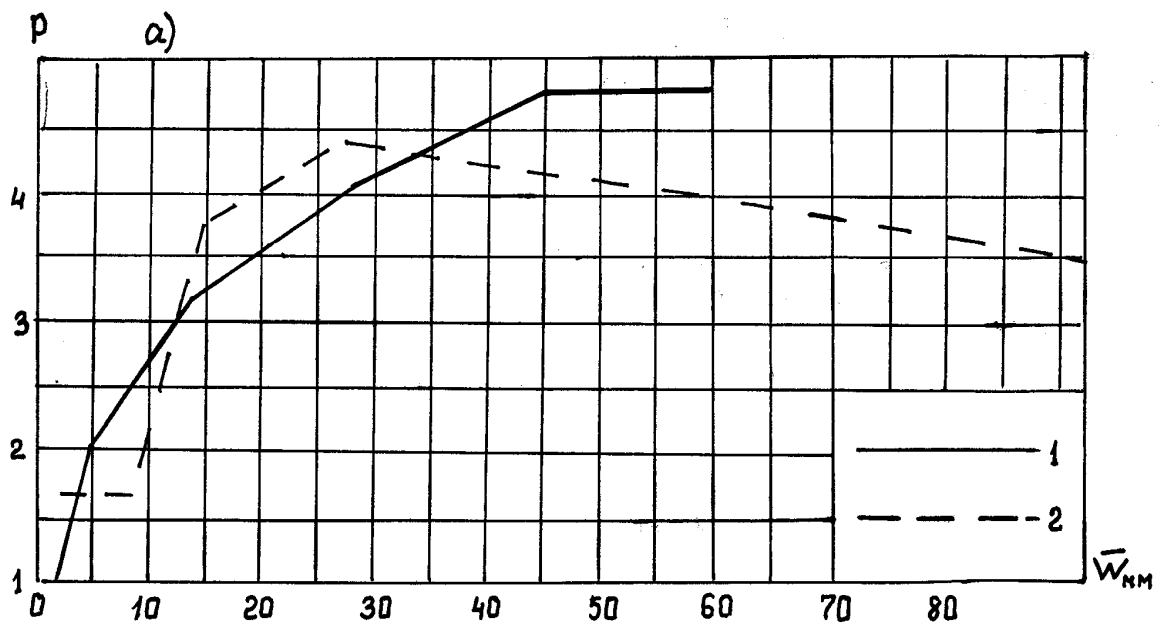


Рис. 2.11 – Відносна оцінка посівів ярої пшениці в залежності від забезпеченості вологою ярої пшениці в зоні:

- а) недостатнього зволоження,
- б) в зоні надмірного зволоження

Прогноз забезпеченості вологою ярих зернових культур складається тричі за вегетаційний період: перший – після закінчення сівби ярих; другий – після виходу у трубку; третій – після колосіння.

*Приклад.* Розрахувати середню по області вологозабезпеченість посівів ярої пшениці. Розрахунок забезпечення посівів вологою краще виконувати у робочій таблиці (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Приклад розрахунку вологозабезпеченості ярої пшениці

Середні по області показники	Травень		Червень			Липень			Серпень	
	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
Середня декадна температура повітря	7	10	13	15	18	19	21	23	22	20
Сума опадів за декаду (мм)	10	15	25	8	16	0	5	10	25	20
Запаси вологи у метровому шарі ґрунту (мм)	110	105	110	90	80	50	25	15	22	27
Сума середньодобової нестачі вологи повітря за декаду (мм)	22	25	34	49	60	97	90	105	82	82
Величина випарування, яка необхідна для оптимальних умов росту (мм)	13	15	20	29	36	58	54	42	33	33
Сумарне випарування у поточному році (мм)		20	20	28	26	30	30	20	18	15
Вологозабезпеченість за декаду (%)		133	100	96	72	52	56	48	55	45
Середня вологозабезпеченість за весь минулий період (%)		133	116	110	100	90	85	80	76	72

#### 2.4.3 Розрахунок забезпечення вологою посівів цукрових буряків

Найбільші посівні площі цукрових буряків розташовані в зонах нестійкого та недостатнього зволоження. В цих зонах відчувається вплив забезпечення вологою посівів а розвиток та формування продуктивності рослин впродовж всього періоду вегетації. Розрахунок забезпечення вологою цукрових буряків виконується за тими ж формулами, що і зернових культур. Однак коефіцієнти біологічної кривої для цукрових

буряків будуть зовсім інші, вони визначені О.М. Конторщиковою (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Коефіцієнти  $K$  для визначення потреби у воді цукрових буряків

Декада вегетації	$K$	Декада вегетації	$K$	Декада вегетації	$K$	Декада вегетації	$K$
перша	0,22	п'ята	0,49	дев'ята	0,78	Тринадцята	0,66
друга	0,26	шоста	0,65	десята	0,75	Чотирнадцята	0,64
третья	0,31	сьома	0,72	одинадцята	0,72	п'ятнадцята	0,61
четверта	0,39	восьма	0,80	дванадцята	0,69	Шістнадцята	0,55

В окремі роки в залежності від агрометеорологічних умов розвиток цукрових буряків може прискорюватись або уповільнюватись, тому при розрахунках потреби їх у воді коефіцієнти або зміщуються на одну декаду, або повторюються двічі за одну й ту ж декаду. У будь-якому випадку значення коефіцієнту 0,49 повинно припадати на декаду початку росту коренеплоду. Вона розраховується по сумі ефективних температури вище  $5^{\circ}\text{C}$ , що становить 500С.

Фактичне сумарне випаровування з поля цукрових буряків визначається з табл. 2.9.

Якщо при розрахунках вологозабезпеченість 100 %, то вона приймається рівною 100 % так як у зонах недостатнього та нестійкого зволоження короткочасне надмірне зволоження не викликає несприятливих умов для розвитку цукрових буряків.

Забезпечення рослин вологою розраховується за кожну декаду вегетації. Якщо необхідно визначити вологозабезпеченість за будь-який період, то в цьому випадку значення вологозабезпеченості за кожну декаду підсумовується та розділяється на кількість декад у періоді.

Для складання прогнозів врожаїв цукрових буряків необхідно знати завчасно середню вологозабезпеченість всього періоду вегетації. З цією метою О.М. Конторщикова отримала рівняння, які характеризують залежність середньої вологозабезпеченості посівів цукрових буряків за весь період вегетації ( $U$ ) від вологозабезпеченості за період від сівби до моменту складання прогнозу ( $U_1$ ) (табл. 2.10).

Слід зазначити, що чим пізніше складається прогноз вологозабезпеченості вегетаційного періоду цукрових буряків, тим він точніший.

Таблиця 2.9 – Сумарне випарування за декаду в залежності від початкових запасів вологи у шарі ґрунту 0 – 100 см, опадів за декаду та середньої температури повітря

Середня декадна температура повітря, °С	Запаси вологи в метровому шарі ґрунту за попередню декаду плюс кількість опадів за поточну декаду, мм										
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
Період від посіву до початку росту коренеплоду											
5	5	6	7	8	9	11	13	14	15	16	18
6	5	7	8	9	10	12	14	15	16	18	20
7	6	7	9	10	12	13	15	16	17	19	21
8	6	8	10	11	13	15	16	18	19	21	23
9	7	9	11	12	14	16	17	19	21	23	24
10	8	10	12	13	15	17	19	21	22	24	26
11	8	10	13	15	16	18	20	22	23	26	28
12	9	11	14	16	18	20	22	23	24	27	30
13	9	12	15	17	19	21	23	25	26	28	32
14	10	13	16	18	20	22	24	26	27	30	33
15	11	14	17	19	21	23	25	27	29	32	35
16	11	15	18	20	22	24	27	28	30	34	37
17	12	15	19	21	23	26	28	30	32	35	38
18	13	17	20	22	24	27	30	32	34	37	40
19	14	18	21	23	25	28	31	33	35	38	42
20	15	19	22	24	27	29	32	35	36	40	44
21	16	20	23	25	28	31	34	36	38	42	46
22	17	21	24	27	29	32	35	37	39	44	47
23	18	22	25	28	30	34	36	39	41	46	49
24	19	23	26	29	32	35	37	40	43	47	51
25	20	24	27	30	33	36	39	42	45	49	53
26	21	25	28	31	34	37	40	43	46	51	55
27	22	26	29	32	36	38	42	45	48	53	57
28	23	27	30	33	37	40	44	47	50	54	58
29	24	28	31	35	39	42	45	48	52	56	60
30	25	29	32	36	40	43	47	50	53	58	62

Продовження табл. 2.9

Середня декадна температура повітря, °С	Запаси вологи в метровому шарі ґрунту за попередню декаду плюс кількість опадів за поточну декаду, мм										
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Період після початку росту коренеплоду											
5	5	6	7	8	9	10	10	11	11	12	13
6	6	7	8	9	10	11	11	12	12	13	14
7	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	15
8	7	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17
9	8	10	11	12	13	14	15	15	16	17	18
10	9	10	12	13	14	15	16	17	17	19	20
11	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21
12	10	12	14	15	16	17	19	20	21	22	23
13	11	13	15	17	18	19	20	21	22	23	24
14	12	14	17	18	19	20	21	22	23	24	25
15	13	15	18	19	20	21	22	23	24	26	27
16	14	16	19	20	21	22	23	25	26	27	28
17	14	17	20	21	22	24	25	26	27	29	30
18	15	18	21	22	24	25	26	27	29	30	31
19	16	19	22	23	25	26	27	29	30	32	33
20	17	20	23	25	26	28	29	30	32	33	34
21	18	21	24	26	27	29	31	32	33	35	36
22	19	22	25	27	28	30	32	33	34	36	37
23	20	23	26	28	30	32	33	34	35	37	39
24	21	24	28	30	31	33	34	36	37	39	40
25	22	25	29	31	32	34	36	37	38	40	42
26	23	26	30	32	34	36	37	38	40	41	43
27	24	28	31	33	35	37	39	40	41	43	44
28	25	29	32	34	36	38	40	41	42	44	46
29	26	30	33	35	37	39	41	42	43	45	48
30	27	31	34	36	39	40	42	43	44	47	49

Продовження табл. 2.9

Середня декадна температура повітря, °С	Запаси вологи в метровому шарі ґрунту за попередню декаду плюс кількість опадів за поточну декаду, мм					
	150	160	170	180	190	200
Період після початку росту коренеплоду						
5	13	14	15	16	17	17
6	15	16	16	17	18	19
7	16	17	18	19	20	21
8	17	18	19	20	21	22
9	19	20	21	22	23	24
10	21	21	22	23	25	26
11	22	23	24	25	26	27
12	23	24	26	27	28	29
13	25	25	27	29	30	31
14	26	27	28	30	31	33
15	28	29	30	32	33	34
16	29	31	32	34	35	36
17	31	32	34	35	37	38
18	32	34	35	37	39	40
19	34	35	37	39	41	42
20	36	37	39	41	42	44
21	37	39	41	42	44	45
22	39	41	43	44	46	47
23	40	42	44	46	48	49
24	42	43	46	48	50	52
25	43	45	47	50	52	54
26	45	46	49	52	54	55
27	46	48	51	54	55	57
28	48	50	52	55	57	59
29	50	52	54	57	59	61
30	51	54	56	59	61	63



Таблиця 2.10 – Рівняння зв'язку для розрахунків очікуваної середньої вологозабезпеченості (%) посівів за вегетаційний період

Декада після початку росту коренеплоду	Рівняння	Помилка рівняння
Перша	$U = 1,5U_1 - 66$	6
Друга	$U = 1,5U_1 - 61$	6
Третя	$U = 1,4U_1 - 50$	5
Четверта	$U = 1,4U_1 - 45$	5
П'ята	$U = 1,3U_1 - 33$	4
Шоста	$U = 1,3U_1 - 30$	3
Сьома	$U = 1,1U_1 - 12$	3
Восьма	$U = 1,1U_1 - 10$	3
Дев'ята	$U = 1,0U_1 - 2$	2
Десята	$U = 1,0U_1 - 2$	2
Одинадцята	$U = 0,95U_1 - 2$	2

### 3. Техніка розрахунку прогнозів запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами

#### 3.1 Техніка розрахунку прогнозу запасів продуктивної вологи на початок весни

Прогноз запасів вологи на початок весни складається з місячною завчасністю за методом Л.О Разумової. Очікувані запаси вологи розраховуються на момент переходу температури повітря через 5°C навесні. Головним чином цей прогноз складається для полів під озимими культурами та під зябом. Розрахунки виконуються у робочій таблиці (табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Розрахунок очікуваних запасів вологи на початок весни у метровому шарі ґрунту за методом Л.О.Разумової

(ст. Сербка, ґрунт – чорнозем південний каштановий, найменша вологомісткість – 156 мм.) Дата складання прогнозу 30 січня

№ за/п	Дані для розрахунків	Зяб	Озимі культури
Початкові дані			
1	Останнє визначення вологості ґрунту восени	10.XI	10.XI
2	Запаси вологи у ґрунті ( мм)	40	80
3	Найменша вологомісткість (НВ) (мм)	160	160
4	Опади за період від останнього визначення вологості ґрунту до дати складання прогнозу	64	64
5	Середні багаторічні значення запасів вологи навесні	120	150
Дані за прогнозом			
6	Перехід середньої температури повітря через 5°C навесні	18.III	18.III
7	Опади за період від дати складання прогнозу до переходу температури повітря через 5°C навесні (мм)	42	42

Продовження табл. 3.1.

Розраховані дані			
8	Опади за період від останнього визначення запасів вологи восени до переходу температури повітря через 5°C навесні (мм)	Графи: 4+7	
9	Нестача насичення ґрунту вологою восени	Графи: 3-2	
10	Зміна запасів вологи за осінньо-зимово-весняний період	Визначається за відповідними графіками	
11	Запаси вологи, очікувані навесні (мм)	Графи: 2+10	
12	Те ж у % НВ		
13	Те ж у % від середньої багаторічної		

\*Примітка: робочу таблицю для розрахунків викладач роздає студентам кожному індивідуально.

### 3.2 Техніка розрахунку прогнозу запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами

Техніка складання прогнозів запасів продуктивної вологи під сільськогосподарськими культурами майже однакова для всіх культур.

Для складання прогнозу необхідно підготувати для розрахунків такі відомості:

- фази розвитку рослин та дати їх настання для кожної культури;
- типи ґрунтів та їх механічний склад;
- середні багаторічні значення температури повітря та опадів за розрахунковий період;
- синоптичний прогноз температури повітря та опадів;
- значення запасів продуктивної вологи на початок розрахункового періоду у шарах 0-20см, 0-50 см, 0-100см.

Виконати розрахунки:

- розрахувати очікувану температуру повітря та суми опадів по декадах розрахункового періоду;
- визначити коефіцієнти в рівняннях для розрахунків або самі рівняння (з табл. 2.1 – 2.4);

- розрахувати зміну запасів продуктивної вологи за кожну декаду розрахункового періоду за рівняннями або відповідними графіками;
- визначити величину очікуваних запасів продуктивної вологи за кожну декаду за рівнянням (2.2). При цьому величину зміни запасів продуктивної вологи з відповідним знаком додають до значень запасів вологи за попередню декаду.

Слід мати на увазі, що для кожної наступної декади розраховані запаси продуктивної вологи на попередню декаду будуть початковими.

Дані для розрахунків видаються викладачем кожному студенту індивідуально.

## Контрольні запитання

1. Які Ви знаєте основні закономірності формування запасів продуктивної вологи в ґрунті?
2. Особливості формування запасів продуктивної вологи в холодну пору року.
3. Особливості формування запасів продуктивної вологи в теплу пору року.
4. Перелічіть методи прогнозів запасів продуктивної вологи на початок весни.
5. Що таке „глибина промочування ґрунту” і як вона визначається?
6. Що називається „найменшою волого місткістю ґрунту”?
7. Як розраховується нестача насичення ґрунту восени?
8. На якій основі базується прогноз запасів вологи Л.О. Разумової?
9. Для яких районів розроблено метод І.В. Свісюка?
10. З якою метою використовується максимальна кількість опадів за передпосівний період озимих культур?
11. Яка закономірність є основою прогнозу запасів вологи під сільськогосподарськими культурами?
12. Що входить у рівняння для розрахунку запасів вологи?
13. Чим відрізняються методи розрахунку запасів вологи під різними сільськогосподарськими культурами?
14. Що називається вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур?
15. Як розраховується сумарне випаровування?
16. Як розраховується випаровуваність?
17. Як прогнозується значення дефіциту насичення повітря?
18. Як розраховується вологозабезпеченість цукрових буряків у другу половину вегетації?
19. Які дані необхідні для складання прогнозу запасів продуктивної вологи на весну?
20. Як враховуються фази розвитку сільськогосподарських культур при складанні прогнозів запасів продуктивної вологи?

## Список літератури

1. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве.- Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 288 с.
2. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага (применительно к запросам сельского хозяйства). – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 317 с.
3. Разумова Л.А. Методика составления прогноза запасов продуктивной влаги в почве к началу вегетационного периода. – В кн.: Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. – Л.: Гидрометеиздат, 1957.
4. Свисюк И.В. Агрометеорологические прогнозы, расчеты, обоснование. – Л.: Гидрометеиздат, 1991.
5. Свисюк И.В. Запасы влаги в почве и урожай. – Ростов Н/Д.: Ростиздат., 1973. – 42 с.
6. Мкртчян Р.С., Хачатрян Л.А. Методика расчета весенних влагозапасов почвы в условиях Армянской ССР. //Труды ЗакНИГМИ, 1976. – Вып. 60.
7. Рудичева Э.Т. Методика прогноза запасов влаги на начало весны по Новосибирской области. //Труды ЗапСибНИГМИ, 1979. – Вып. 24.
8. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т.2. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 236 с.
9. Кабанов П.Г. Дифференцированное применение агротехники. – Саратов: Приволж. Кн. издательство, 1968. – 277 с.
10. Вериго С.А. Прогноз изменения запасов влаги в почве по периодам вегетации. Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 301 с.
11. Алпатыев А.М. Влагообороты в природе и их преобразования. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 322 с
12. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 372 с.
13. Зубенок Л.И. Испарение на континентах. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 263 с.
14. Саноян М.Г. Агрометеорологические и агрофизические принципы и методы управления влагообеспеченностью посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 296 с.
15. Процеров А.В. Оценка влагообеспеченности яровой пшеницы (овса, ячменя) в период вегетации. – В кн.: Сборник методических указаний по анализу и оценке сложившихся и ожидаемых агрометеорологических условий. – Л.: Гидрометеиздат, 1957.
16. Давитая Ф.Ф., Мельник Ю.С. Проблема прогноза испаряемости и оросительных норм. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.

17.Конторщикова О.М. Методическое пособие по составлению прогноза средней областной урожайности сахарной свеклы в основной зоне возделывания. – М: Гидрометеиздат, 1970. – 20 с.

18.Конторщикова О.М., Чирков Ю.И. Оценка и прогноз агрометеорологических условий формирования урожая кукурузы и сахарной свеклы. Методические указания. – Л.: Гидрометеиздат. 1964. – 18 с.

19.Конторщикова О.М. Методическое пособие по оценке агрометеорологических условий роста сахарной свеклы в нечерноземной зоне ЕТС. – Л.: Гидрометеиздат, 1965.- 11 с.

20.Физика почвенных вод. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

21.Руководство по составлению агрометеорологических прогнозов. Под ред Е.С.Улановой. –Л.: Гидрометеиздат, т.1 и 2, 1984.

22.Польвий А.М., Божко Л.Ю., Ситов В.М., Ярмольська О.Є. Практикум з сільськогосподарської метеорології. – Одеса, 2002. – 385 с.

23.Чирков Ю.И. Агрометеорологические условия и продуктивность кукурузы. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 251 с.

Методичні вказівки до самостійної роботи  
студентів IV курсу  
з дисципліни  
**„Агрометеорологічні розрахунки”**

Напрямок підготовки – „Гідрометеорологія”  
Спеціальність – Агрометеорологія

Укладач: к.г.н, доцент Божко Л.Ю.  
к.г.н., ас. Барсукова О.А.

Підп. до друку                      Формат 60x84/16    Папір офс.  
Умовн. друк. арк.                      Тираж                      Зам. №  
Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

---