

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни

«Фізика геосфер Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери»

частина I «Фізика ґрунтів»

для студентів денної та заочної форми навчання

спеціальності 103 «Науки про Землю»

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни

«Фізика геосфер Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери»

частина I «Фізика ґрунтів»

для студентів денної та заочної форми навчання

спеціальності 103 «Науки про Землю»

Затверджено
на засіданні групи
забезпечення спеціальності
Протокол № 7
від «29» березня 2022р.

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Фізика геосфер Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери» Частина I «Фізика ґрунтів» для магістрів I року навчання денної та заочної форми за спеціальністю 103 «Науки про Землю», рівень вищої освіти магістр /Польовий А.М., д-р геогр. наук, професор. Одеса, ОДЕКУ, 2022. 36 стор.

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА.....	5
Тема 1 РОЗРАХУНОК ДИНАМІКИ ВОЛОГИ У ГРУНТІ	
ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Механізми пересування вологи у ґрунті.....	7
1.2 Моделювання вологоперенесення у ґрунті.....	8
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	11
1.3 Загальна підготовка початкової інформації для виконання розрахунків.....	11
1.4 Підготовка і введення вхідної інформації для виконання розрахунків на ПЕОМ.....	12
1.5 Вихідна інформація – результати розрахунків.....	14
Додаток А.....	16
Додаток Б.....	17
Тема 2 РОЗРАХУНОК ПОТОКУ ТЕПЛА І ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ У ГРУНТІ	
ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	21
2.1 Механізм теплообміну у ґрунті.....	21
2.2 Моделювання потоку тепла у ґрунті.....	23
ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	26
2.3 Загальна підготовка початкової інформації для виконання розрахунків.....	26
2.4 Підготовка і введення вхідної інформації для виконання розрахунків на ПЕОМ.....	27
2.5 Вихідна інформація – результати розрахунків.....	29
Додаток В.....	31
Додаток Г.....	32
Питання для самоперевірки.....	36
Список використаної літератури.....	36

ПЕРЕДМОВА

Стан, ріст, розвиток, формування урожаю сільськогосподарських культур в значній мірі обумовлюються кількістю вологи у ґрунті та його температурним режимом.

Як природне фізичне тіло ґрунт тісно пов'язаний із складом і походженням материнської породи та з умовами зовнішнього середовища (з кліматом, рельєфом, рослинністю), тобто з факторами ґрунтоутворення, які визначають особливості формування ґрунтового профілю, що складається з генетичних горизонтів, що є причиною виникнення вертикальної анізотропії, і зумовлюють латеральну просторову мінливість фізичних властивостей ґрунтів. З умовами зовнішнього середовища пов'язані зміни вмісту води та повітря у ґрунтах, приплив тепла у ґрунти або його відтік, коливання температури ґрунтів.

Радіаційний, тепловий, водний і повітряний режими ґрунтів обумовлюється впливом факторів довкілля. Вони спричиняють переміщення води на ґрунті у вертикальному і горизонтальному напрямках. Фактори зовнішнього середовища обумовлюють радіаційний, тепловий, водний і повітряний режими ґрунтів, спричиняють переміщення води на ґрунті у вертикальному і горизонтальному напрямках. На характер і швидкість поширення води, повітря, тепла у ґрунтах істотно впливають будова ґрунтового профілю, ступінь виразності вертикальної анізотропії. Тому істотне місце у фізиці ґрунту приділено питанням проникнення та поширення води та повітря у ґрунтах (інфільтрація, водопроникність, водопідйомна здатність ґрунтів, повітропроникність), водного, теплового та повітряного режимів.

Фізичні властивості орних ґрунтів це один з найважливіших факторів їх родючості. Контроль змін фізичних параметрів, які відображають зміни фізичних процесів ґрунту, є необхідним елементом моніторингу з метою оцінки стану земель і визначення найбільш ефективних прийомів їх збереження і підвищення родючості.

Метою чинних методичних вказівок з дисципліни «Фізика геосфера Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери» частина I «Фізика ґрунтів» є ознайомлення студентів з існуючими методами розрахунку динаміки вологи у ґрунті та формування температурного поля у ґрунті. Для виконання завдання студент вивчає теоретичну частину, виконує практичне завдання і відповідає на контрольні питання.

Після вивчення методичних вказівок студенти повинні:

Знати:

– механізми пересування вологи у ґрунті та моделювання потоків води у ґрунті;

–механізми теплообміну у ґрунті та моделювання потоку тепла у ґрунті.

Вміти:

–за допомогою моделі вологоперенесення у ґрунті виконати на ПЕОМ розрахунки динаміки вологи у ґрунті;

–за допомогою моделі потоку тепла у ґрунті виконати на ПЕОМ розрахунки потоку тепла та температурне поле у ґрунті.

Оволодіти навичками:

- підготовки інформації для виконання розрахунків потоків вологи у ґрунті;

- підготовки інформації для розрахунку потоку тепла та температурного поля у ґрунті;

- користування обчислювальною технікою для виконання розрахунків і т.п.

В методичних вказівках наведено дві теми щодо розрахунку динаміки вологи та потоку тепла у ґрунті. Практичне завдання студент виконує по одній із вибраних тем (тобто завдання перше або друге).

Перед початком роботи студент опрацьовує теоретичні питання, відповідає на контрольні питання; знайомиться з підготовкою вхідного матеріалу для розрахунків, виконує розрахунки, аналізує результати.

Згідно силабусу дисципліни «Фізика геосфер Землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери» частина I «Фізика ґрунтів» – методика проведення та оцінювання контрольних заходів практичного модуля ЗМ-П1, полягає в оцінюванні результатів виконаних розрахунків, умінні студента узагальнювати результати розрахунків, скласти відповідні тексти, повноті відповідей на запитання. Оцінюється виконання практичного заняття і відповіді на запитання. За виконання цього завдання студент отримує 5 балів.

ТЕМА 1. РОЗРАХУНОК ДИНАМІКИ ВОЛОГИ У ГРУНТІ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Механізми пересування вологи у ґрунті

При зволоженні ґрунту після досить інтенсивних опадів або поливу волога переміщується всередину під дією суми двох сил – маси і сисної сили більш сухих нижніх шарів. Якщо верхній шар ґрунту промочується при цьому до максимального насичення, рух води здійснюється в рідкій фазі і відбувається в основному по великих порах, тріщинках та інших локальних каналах.

При зменшенні вологості пересування вологи починає здійснюватися по капілярах різного діаметра і «проміжках» між ґрунтовими агрегатами. Оскільки в більш сухих шарах заповнені водою капіляри в середньому мають менший діаметр, вода починає поступати в ці шари за рахунок різниці капілярних тисків. Ця сисна сила ґрунту починає превалювати над силою маси і стає основною при зменшенні вологості нижче так названої повної польової вологості (ППВ) або що, те ж саме, найменшої вологості (НВ). При подальшому висушуванні ґрунту перенесення вологи здійснюється як у рідкій фазі у вигляді дифузії молекул у шарі води, адсорбованому на ґрунтових частках, так і у вигляді пари, яка дифундує у вільному поровому просторі.

Головними діючими силами, відповідальними за переміщення води у ґрунті є, таким чином, сила маси, яка завжди спрямована вниз і гідравлічний потенціал, дія якого спрямована від більш вологих шарів ґрунту до більш сухих.

Пересування вологи у ґрунті підкоряється основному закону перенесення маси й енергії, відповідно до якого щільність потоку q (тобто, об'єм субстанції V , перенесений через одиницю площі поперечного перерізу A в одиницю часу t) пропорційна градієнту рушійних сил

$$\frac{V}{A_t} = q = -K \text{ grad}\Phi, \quad (1.1)$$

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

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

Знак мінус у рівнянні (1.1) означає, що рух відбувається в напрямку, протилежному тому, в якому зростає потенціал.

Одиниця щільності потоку така ж, як і для швидкості ($\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; $\text{м}/\text{с}$).

1.2 Моделювання вологоперенесення у ґрунті

Вологоперенесення у ґрунті моделюється аналогічно роботі [4], при цьому рівняння потоку води в системі «ґрунт – коріння» розглядається одночасно як для насиченого так і ненасиченого середовища

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{C(\psi)} \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(\psi)}{C(\psi)}, \quad (1.2)$$

де ψ – потенціал тиску ґрунтової вологи;

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

$K(\Theta)$ – гiдравлiчна провiднiсть;

Θ – об'ємна вологiсть;

$S(\psi)$ – поглинання вологи коренями;

t – час;

z – вертикальна координата.

Як початкова умова ($t = 0$) задається

$$\psi(z, t=0) = \psi_0(z) \quad (1.3)$$

За граничні умови приймається:

– на нижній межі (z_{so}) потенціал тиску задається як

$$\psi(z = z_{so}, t) = \psi_{so}(t), \quad (1.4)$$

– на рівні ґрунтових вод величини $C(\psi) = 0$ і $\psi(z_{so}, t) = 0$;

– на поверхні ґрунту z_0 (верхня межа):

$$P_s - E = -K(\Theta) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \quad \text{при } P_s - E < J_{\max}; \quad (1.5)$$

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

де P_s – кількість опадів, що досягли поверхні ґрунту;

E – випаровування із поверхні ґрунту;

J_{\max} – максимально можлива інтенсивність інфільтрації при вологості ґрунту на його поверхні, дорівнює Θ_{\max} .

Кількість опадів, що досягли поверхні ґрунту, визначається так:

$$P_s = P_o - P_L, \quad (1.6)$$

де P_o – кількість опадів, що випали;

P_L – кількість опадів, перехоплених рослинним покривом, яка залежить від величини листового апарата:

$$P_L = 0,2 L , \quad (1.7)$$

де L – відносна площа листової поверхні (листовий індекс).

Величина джерельно-стокового члена $S(\psi)$ визначається в залежності від потенціалу тиску і максимальної швидкості поглинання вологи S_{\max} за таким виразом:

$$S(\psi) = \alpha_s(\psi) S_{\max} / f_{depth}^{root} \quad (1.8)$$

приймаємо, що

$$S_{\max} = T_r , \quad (1.9)$$

де T_r – транспірація; f_{depth}^{root} – функція розподілу коренів по глибині; $\alpha_s(\psi)$ – функція впливу водного потенціалу ґрунту на поглинання вологи кореневою системою.

Транспірація рослинного покриву визначається за формулою Пенмана:

$$T_r = \frac{\Delta \left(\frac{R_L}{\lambda} \right)}{\Delta + \gamma_{ef}} + \frac{ET_{pot}}{\Delta + \gamma_{ef}} , \quad (1.10)$$

де Δ – нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

γ_{ef} – ефективна психрометрична постійна;

R_L – радіаційний баланс РП;

ET_{pot} – випаровуваність;

λ – прихована теплота пароутворення.

Випаровуваність визначається за допомогою рівняння:

$$ET_{pot} = \frac{(e_s - e_a) \rho c_p}{r_a} , \quad (1.11)$$

де e_s – тиск насиченої пари при даній температурі повітря;

e_a – фактичний тиск водяної пари;

ρ – густина повітря;

c_p – теплоємність повітря;

r_a – опір прилежого шару.

Ефективна психрометрична постійна знаходиться як:

$$v_{ef} = v \frac{r_a + r_{st}}{r_a} , \quad (1.12)$$

де v – психрометрична постійна;
 r_{st} – продиховий опір дифузії водяної пари для листя.
 Опір примежового шару визначається за виразом:

$$r_a = \frac{\ln[(z - d_o)/z_o]^2}{\chi^2 u}, \quad (1.13)$$

де d_o – висота шару витіснення;
 z_o – висота шару шорсткості;
 χ – постійна Кармана;
 u – швидкість вітру на висоті z .
 Продиховий опір визначається за формулою:

$$r_{st} = \frac{1}{g_n + \frac{g_x Q_o}{Q_o + p_r}} \quad (1.14)$$

де g_n , g_x , p_r – емпіричні параметри.
 Випаровування із поверхні ґрунту E_S визначається як:

$$E_S = \frac{(\Delta R_S) \cdot 1,26}{\Delta + \gamma}. \quad (1.15)$$

Рівень ґрунтових вод в період після припинення затоплення визначається за методом Шебеко:

$$H_{gr.w.}^{j+1} = H_{gr.w.}^j + \Delta H_{gr.w.}^j; \quad (1.16)$$

$$\Delta H_{gr.w.} = \frac{I_w}{k_w 10} \quad (1.17)$$

або

$$\Delta H_{gr.w.} = -\frac{V_p}{k_w 10}, \quad (1.18)$$

де

$$I_w = W_n + P_o - Et_{opt} - W_{FC} \quad (1.19)$$

і величина V_p визначається як

$$0 \leq W_{PC} - (W_n + P_o - ET_{act}) \geq V_p \leq V_{max}, \quad (1.20)$$

де $H_{gr.w.}$ – рівень ґрунтових вод;
 I_w – інфільтрація;
 V_p – розрахункове підживлення в зону аерації з ґрунтових вод;
 W_n – початковий вміст вологи у ґрунті;
 ET_{act} – сумарне випаровування;
 V_{max} – максимально можливе підживлення в зоні аерації з ґрунтових вод;
 k_w – коефіцієнт водовіддачі.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання: Розрахувати динаміку вологи в шарах ґрунту. Дані для розрахунків викладач видає кожному студенту індивідуально.

1.3 Загальна підготовка початкової інформації для виконання розрахунків

Для виконання розрахунків необхідно підготувати середню по області (або ж по окремій станції) агрометеорологічну інформацію, яка має три групи:

- 1) опис області (станції);
- 2) поточна агрометеорологічна інформація конкретного року;
- 3) параметри моделі.

1.1. Опис області (станції). До складу цієї групи входять:

1.1.1. φ – географічна широта центра області (станції), дається в градусах з десятими;

1.1.2. $W_{нв}$ – найменша вологомісткість метрового шару ґрунту, мм.

2.2. Поточна агрометеорологічна інформація. До складу цієї групи входить:

2.2.1. $W(0)$ – запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту на початок розрахунків;

2.2.2. Фенологічні дані – дати настання фаз розвитку: відновлення вегетації (сходи), вихід в трубку, колосіння, цвітіння, молочна стиглість, воскова стиглість. На основі цієї інформації визначається:

2.2.3. n – кількість розрахункових декад від відновлення вегетації (сходів) до воскової стиглості;

n_p – кількість днів в кожній розрахунковій декаді;

n_0 – кількість днів від першого січня до відновлення вегетації (сходів);

N_1 – дата відновлення вегетації (сходів) – дата місяця, коли настала фаза;

N_2 – порядковий номер місяця, коли настала фаза відновлення вегетації (сходів): 1 – січень, 2 – лютий і т.д.;

2.2.4. – щодакданні за весь період метеорологічні дані:

ts – середня за декаду температура повітря, °C;

tps – середня за декаду температура поверхні ґрунту;

ss – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

os – сума опадів за декаду, мм;

dww – середній за декаду дефіцит насичення повітря, мб;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді;

2.3. Параметри моделі. До складу цієї групи входять наступні характеристики:

2.3.1. W_{NB} – найменша вологомісткість метрового шару ґрунту, мм;

2.3.2. T_0 – біологічний нуль культури, для якої ведеться розрахунок;

2.3.3. $\sum t_{ef}$ – сума ефективних температур за період вегетації;

2.3.4. $\sum t_{max1}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до колосіння (викидання волоті);

2.3.5. $\sum t_{max2}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до молочної стиглості;

2.3.6. LAI_{max} – максимальна площа листової поверхні, m^2/m^2 ;

2.3.7. $W(0)$ – запаси продуктивної вологи на початок вегетації (початок розрахунків), мм;

2.3.8. SW_{req} – сумарна потреба культури у волозі за вегетаційний період, мм;

2.3.9 – 2.3.20. W – об'ємна вологість ґрунту в шарах ґрунту 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 см, cm^3/cm^3

2.3.10. W_{MG} – максимальна гігроскопічність ґрунту, cm^3/cm^3 ;

2.3.11. W_{VP} – вологість в'янення, cm^3/cm^3 ;

2.3.12. W_{FC} – найменша вологомність ґрунту, cm^3/cm^3 ;

2.3.13. $W_{Full C}$ – повна вологомісткість ґрунту, cm^3/cm^3 ;

2.3.14. K_{Filt} – коефіцієнт фільтрації, см/доба.

1.4 Підготовка і введення вхідної інформації для виконання розрахунків на ПЕОМ

Для виконання розрахунків по кожній області на ПЕОМ створюється директорія поточних даних року виконання розрахунку.

Файлу даних, що вводяться надається ім'я «DinWlag. dat» (дивись Додаток А). Зупинимось більш детально на підготовці робочого масиву «DinWlag. dat». Він готується так:

Перший рядок складається з чотирьох чисел:

- 1) назва пункту, пишеться буквами, починаючи з другої позиції;
- 2) рік складання розрахунку (прогнозу), пишеться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту;
- 3) дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року;

4) місяць розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після дати.

Другий рядок складається з п'яти чисел:

1) n – кількість розрахункових декад, число ціле, записується в трьох позиціях;

2) $t_{об}$ – кількість днів від 1 січня (початок відліку) до дня сходів (відновлення вегетації), число ціле, записується в трьох позиціях;

3) $N1$ – дата сходів (відновлення вегетації) ціле число, в трьох позиціях;

4) $N2$ – місяць сходів (відновлення вегетації) пишеться арабськими цифрами (1 – січень, 2 – лютий, 3 – березень і т.д.), ціле число, в трьох позиціях.

5) φ – географічна широта пункту (області), хвилини виражені в частках градуса. Десятиричне число в шести позиціях з двома знаками після коми.

Третій рядок: t_s – масив середньодекадних температур повітря, число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Четвертий рядок: t_{ps} – масив середньодекадної температури поверхні ґрунту, число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми;

П'ятий рядок: ss – масив інформації про кількість годин сонячного сяйва в розрахункових декадах (в середньому за один день декади), число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Шостий рядок: os – сума опадів за декаду, число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Сьомий рядок: dww – масив середніх за декаду значень дефіциту насичення повітря (мб), число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Восьмий рядок: dv – масив кількості днів в розрахункових декадах. число ціле, в трьох позиціях.

Дев'ятий рядок – інформаційний масив (масив "inf"). Містить вісім чисел, кожне число кодується у восьми позиціях з трьома знаками після коми:

1) $inf(1)$ – W_{HB} – найменша вологомісткість метрового шару ґрунту;

2) $inf(2)$ – T_o – біологічний нуль культури, °С;

3) $inf(3)$ – $\sum t_{ef}$ – сума ефективних температур за період вегетації культури, °С;

4) $inf(4)$ – $\sum t_{max1}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до колосіння (викидання волоті);

5) $inf(5)$ – $\sum t_{max2}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до молочної стиглості;

6) $inf(6)$ – LAI_{max} – максимальна площа листя, m^2/m^2 ;

7) $inf(7)$ – $W(0)$ – запаси вологи в метровому шарі ґрунту на початок розрахунків, мм;

8) $inf(8) - Sw_{req}$ – сумарна потреба рослин у волозі за вегетаційний період, мм;

9) $inf(9)$ – код регіону: 1- Полісся, 2 – Лісостеп, 3– Північний Степ, 4– Південний Степ, 5 – Закарпаття;

Десятий рядок – продовження інформаційного масиву (масив "inf"):

$inf(10) - inf(18) - W$ – об'ємна вологість ґрунту в шарах ґрунту 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80 см, cm^3/cm^3 ;

Одинадцятий рядок – продовження інформаційного масиву (масив "inf"):

$inf(19) - inf(20) - W$ – об'ємна вологість ґрунту в шарах ґрунту 80-90, 90-100 см, cm^3/cm^3 ;

$inf(21) - W_{MG}$ – максимальна гігроскопічність ґрунту, cm^3/cm^3 ;

$inf(22) - W_{VP}$ – вологість в'янення, cm^3/cm^3 ;

$inf(23) - W_{FC}$ – найменша вологомісткість ґрунту, cm^3/cm^3 ;

$inf(24) - W_{Full C}$ – повна вологомісткість ґрунту, cm^3/cm^3 ;

$inf(25) - K_{Filt}$ – коефіцієнт фільтрації, см/доба.

1.5 Вихідна інформація – результати розрахунків

Інформація, що виводиться міститься у файлі «DinWlag-P. res». Результати розрахунків видаються у вигляді таблиць (Додаток Б) в наступному порядку.

Спочатку видається початкова інформація для розрахунків (згідно з вимогами розділу 1.4).

Потім послідовно за кожну декаду розрахункового періоду виводиться п'ять розрахункових таблиць (Додаток Б):

Таблиця R.1 містить інформацію про:

- тривалість світлого часу доби ($taudn$, год.);
- сумарну за добу сонячну радіацію (q , кал/ cm^2 доба);
- інтенсивність ФАР ($IntFAR$, кал/ cm^2 хв.);
- радіаційний баланс рослинного покриву ($RLgr$, кал/ cm^2 доба);
- сумі ефективних температур ($ts2$, °C).

Таблиця R.2 містить інформацію про:

- кількість опадів (os , мм), що випали за декаду;
- сумарне випаровування (по Харченко) за декаду ($eakhr$, мм);
- величину оптимального водоспоживання (по Харченко) за декаду (exr , мм);
- випаровуваність (по Алпатьяєву) за декаду ($Epot$, мм);
- випаровуваності (по Пенману) за декаду (Epe , мм);
- розраховані запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту ($W0$).

Таблиця R.3 містить розрахункові дані про переток води із одного шару в другий (d12, d23, d34, d45, d56, d67), см;

Таблиця R.4 містить розраховані дані про динаміку води в шарах ґрунту (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70 см (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7), см³/см³ об'ємної води;

Таблиця R.5 містить розраховані дані про водний потенціал шарів ґрунту (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70 см (psi1, psi2, psi3, psi4, psi5, psi6, psi7) в см.

ДОДАТОК А

1																				
KRIMSKAJ	sr	20.3																		
11	75	07	3	45.55																
02.7	04.6	07.0	09.3	11.4	13.4	15.2	16.8	18.4	19.7	20.8										
4.8	05.3	07.0	7.0	07.0	09.1	09.1	10.1	10.3	10.3	10.3										
16.0	15.0	12.0	12.0	12.0	12.0	13.0	00.0	00.0	18.0	08.0										
2.0	02.0	03.0	04.0	05.0	06.0	07.0	08.0	09.0	10.0	10.0										
04	11	10	10	10	10	11	10	10	05											
148.000	5.000	803.000	385.000	385.000	004.500	140.000	532.000													
4.000																				
0.30	0.28	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.14												
0.14	0.14	0.09	0.14	0.33	0.50	43.2														

RASCHET DINAMIKI WLAGI
SOLNECHNOY RADIAZIII
WLAGOOBESPECHENNOSTI

WXODNAJ INFORMAZIJ

KRIMSKAJ sr 20

11 75 7 3 45.55

Sredn. za dekadu tempstratura vozduxa (grad. C):

2.7 4.6 7.0 9.3 11.4 13.4 15.2 16.8 18.4 19.7 20.8

Sredn. za dekadu chislo chasov solnechn. sijnij:

0.8 5.3 7.0 7.0 7.0 9.1 9.1 10.1 10.3 10.3 10.3

Summa osadkov za dekadu (mm):

0.0 0.0 12.0 12.0 0.0 0.0 13.0 10.0 0.0 18.0 8.0

Sredn. za dekadu defizit vlagnosti vozduxa (mb):

2.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 10.0

Chislo dney v raschetnoj dekadu:

4 11 10 10 10 10 10 11 10 10 5

M A S S I V " I N F " - parametri modeli:

148.000 5.000 803.000 385.000 385.000 4.500 140.000 532.000 4.000
0.300 0.280 0.260 0.240 0.220 0.200 0.180 0.160 0.140
0.140 0.140 0.090 0.140 0.330 0.500 43.200

RESULTAT RASCHETOV

=====

T A B L I Z A R.1

=====

I dek i cyt i taudn i q i IntFAR i SumFAR i RLrp i ts2 i

i 8 i 79 i 11.74 i 147.98 i 0.109 i 0.308 i 93.16 i 0.0 i
i 9 i 90 i 12.15 i 267.76 i 0.191 i 1.839 i 171.12 i 0.0 i
i 10 i 100 i 12.72 i 340.54 i 0.232 i 3.610 i 218.32 i 20.0 i
i 11 i 110 i 13.26 i 361.47 i 0.236 i 5.490 i 220.13 i 63.0 i
i 12 i 120 i 13.77 i 380.28 i 0.239 i 7.467 i 186.61 i 127.0 i
i 13 i 130 i 14.24 i 462.75 i 0.282 i 9.874 i 145.87 i 211.0 i
i 14 i 140 i 14.67 i 475.66 i 0.281 i 12.347 i 101.73 i 313.0 i

i 15	i 151	i 15.04	i 519.18	i 0.299	i 15.317	i 118.42	i 442.8i
i 16	i 161	i 15.31	i 532.71	i 0.302	i 18.087	i 138.86	i 576.8i
i 17	i 171	i 15.45	i 536.06	i 0.301	i 20.874	i 208.77	i 723.8i
i 18	i 176	i 15.49	i 536.82	i 0.300	i 22.270	i 345.21	i 802.8i

taudn-prodolgitelnost swetlogo vremeni sutok(chas)
 q-summarnaj za sutki soln. radiacij (kal/sm*2 sutki)
 IntFAR-intensivnost FAR (kal/sm*2 min)
 SumFAR-summa FAR narost. Itogom (kkal/sm*2 period)
 RLrp-radiacionniy balans rast. pokrova (kal/sm*2 sutki)
 ts2-summa effektivnix temperatur vische 5 grad.

=====
 T A B L I Z A R.2
 X A R A K T E R I S T I K I W O D N O G O
 R E G I M A P O C H V I - I
 =====

Iper	cyt	os	eakxr	exr	Epot	Epe	ES	TRLAI	W0
i 8	i 79	i 0.0	i 2.8	i 3.3	i 3.9	i 2.9	i 2.6	i 0.3	i 137.2
i 9	i 90	i 0.0	i 19.6	i 25.4	i 10.7	i 16.1	i 14.2	i 1.9	i 117.7
i 10	i 100	i 12.0	i 21.4	i 32.1	i 14.6	i 20.2	i 17.6	i 2.6	i 108.2
i 11	i 110	i 12.0	i 21.7	i 34.7	i 19.5	i 23.4	i 18.5	i 4.9	i 98.5
i 12	i 120	i 0.0	i 22.0	i 37.0	i 24.4	i 27.3	i 15.6	i 11.7	i 76.5
i 13	i 130	i 0.0	i 23.9	i 47.2	i 29.2	i 36.2	i 12.0	i 24.2	i 52.6
i 14	i 140	i 13.0	i 20.0	i 48.8	i 34.1	i 38.5	i 8.2	i 30.3	i 45.7
i 15	i 151	i 10.0	i 18.8	i 59.6	i 42.9	i 49.5	i 10.9	i 38.6	i 36.8
i 16	i 161	i 0.0	i 11.8	i 55.8	i 43.9	i 48.9	i 12.1	i 36.8	i 25.1
i 17	i 171	i 18.0	i 11.2	i 56.2	i 48.8	i 51.0	i 19.5	i 31.5	i 31.8
i 18	i 176	i 8.0	i 5.9	i 28.2	i 24.4	i 22.3	i 18.3	i 4.1	i 33.9

os-summa osadkov za dekadu(mm)
 eakxr-summarnoe isparenje (po Xarchenko) za dekadu(mm)
 exr - optimalnoe wodopotreblenie (po Xarchenko) za dekadu(mm)
 Epot-isparjemost (po Alpatjevu) za dekadu(mm)
 Epe-isparjemost (po Penmanu) za dekadu(mm)
 TRLAI-potenzialnaj transpiracij (po Penmanu) za dek(mm)
 ES-potenz. isparenje s poverx. Pochvi (po Penm) za dek(mm)
 w0-raschitanie zapasi vlagi v sloe 0-100sm (mm)

T A B L I Z A R.3
Peretok vlagi iz sloj v sloj

i	per	cyt	q12	q23	q34	q45	q56	q67	q78
8	79	0.001	0.002	0.003	0.005	0.007	0.000	0.000	
9	90	0.001	0.002	0.003	0.005	0.009	0.000	0.000	
10	100	0.002	0.003	0.003	0.007	0.013	0.000	0.000	
11	110	0.001	0.012	0.002	0.011	0.025	0.000	0.000	
12	120	0.001	0.017	0.006	0.022	-.027	0.000	0.000	
13	130	0.002	0.020	0.021	-.024	+Inf	0.000	0.000	
14	140	0.006	0.032	-.018	+Inf	-Inf	0.000	0.000	
15	151	0.005	0.016	+Inf	NaN	NaN	0.000	0.000	
16	161	0.003	+Inf	NaN	NaN	NaN	0.000	0.000	
17	171	+Inf	NaN	NaN	NaN	NaN	0.000	0.000	
18	176	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.000	0.000	

q12, q23 i t.d. peretok iz sloj v sloj(sm3/sm3)

T A B L I Z A R.4
Objemnaj vlaga pochvi po slojm, sm3/sm3

I	per	cyt	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
8	79	0.299	0.279	0.259	0.238	0.217	0.196	0.174	
9	90	0.278	0.259	0.238	0.227	0.204	0.181	0.154	
10	100	0.314	0.296	0.217	0.211	0.188	0.158	0.200	
11	110	0.352	0.323	0.205	0.192	0.163	0.203	-.316	
12	120	0.329	0.285	0.194	0.166	0.201	*****	****	
13	130	0.303	0.243	0.170	0.198	-Inf	+Inf	-Inf	
14	140	0.342	0.262	0.200	-Inf	NaN	NaN	NaN	
15	151	0.368	0.282	-Inf	NaN	NaN	NaN	NaN	
16	161	0.354	-Inf	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
17	171	-Inf	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	
18	176	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	

W1, W2 i t.d. - objemnaj vlaga v sloe 0-10 sm, 0-20 sm i t.d. (sm3/sm3)

T A B L I Z A R.5
 Wodniy potencial pochvi po slojm, sm

	per	cyt	psi	psi2	psi3	psi4	psi5	psi6	psi7
i 8	i 79	i 476.7	i 733.6	i 1129.1	i 1737.6	i 2674.1	i 4115.3	I 6333.3	i
i 9	i 90	i 491.0	i 744.9	i 1155.9	i 1801.6	i 2827.3	i 4483.7	i 7226.6	i
i 10	i 100	i 770.7	i 1155.7	i 1808.7	i 2319.9	i 3742.8	i 6241.8	I 11092.5	i
i 11	i 110	i 350.6	i 518.4	i 2826.4	i 3232.2	i 5310.1	i 10194.3	i 4086.2	i
i 12	i 120	i 156.5	i 287.4	i 3655.8	i 4910.2	i 9142.6	i 3827.8	I *****	i
i 13	i 130	i 255.5	i 660.2	i 4652.3	i 8646.5	i 4040.9	i +Inf	i 0.0	i
i 14	i 140	i 447.7	i 1642.1	i 7790.4	i 4330.5	i +Inf	i 0.0	i +Inf	i
i 15	i 151	i 193.7	i 1074.6	i 4149.0	i +Inf	i NaN	i NaN	i NaN	i
i 16	i 161	i 109.2	i 699.4	i +Inf	i NaN	i NaN	i NaN	i NaN	i
i 17	i 171	i 150.3	i +Inf	i NaN	i NaN	i NaN	i NaN	i NaN	i
i 18	i 176	i +Inf	i NaN	i NaN	i NaN	i NaN	i NaN	i NaN	i

psi1, psi2 i t.d. - wodniy potencial v sloe 0-10 sm, 0-20 sm i t.d. (sm)

Тема 2. РОЗРАХУНОК ПОТОКУ ТЕПЛА І ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ У ГРУНТІ

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Механізм теплообміну у ґрунті

У ґрунті природного складу першопричиною процесу теплообміну є присутній завжди і повсюдно вертикальний температурний перепад, який змінює знак з дня до ночі. Завдяки цьому виникає процес теплопровідності, який обумовлює обмін теплом всередині ґрунту між різними глибинами.

Ґрунт представляє собою двофазну (суху) або трьохфазну (вологу) систему, яка складається із кістяка, що представляє собою сукупність величезної кількості твердих часток ґрунту, розділених між собою проміжками, які заповнені газом, вологою або тим та іншим одночасно.

Теплообмін у ґрунті здійснюється наступними механізмами: теплопровідністю уздовж окремої частки – елемента твердого кістяка матеріалу; передачею тепла завдяки теплопровідності від однієї частки до сусідньої в місцях їхнього безпосереднього контакту; молекулярною теплопровідністю в середовищі, що заповнює проміжки між частками; теплопередачею на границі твердих часток із середовищем; випромінюванням від частки до частки; конвекцією газу і вологи, яка містяться між частками.

Явище теплопровідності має кілька внутрішніх механізмів.

Кондукція – перенесення тепла при безпосередньому контакті частинок один з одним. Оскільки ґрунтові частинки практично завжди контактують одна з одною, цей механізм переважає у всіх мінеральних ґрунтах.

Перенесення «прихованої теплоти» (теплопароперенесення) – перенесення тепла разом з парами води, що утворюються (з втратою тепла) в одній точці ґрунту та конденсуються (з виділенням тепла) в іншій. Вираз «прихована теплота» пов'язаний із терміном «прихована теплота пароутворення», що становить 585 кал/г. Якщо у ґрунті є градієнт температури, то пари води рухаються від точки з більшою температурою до точки з меншою. Тому якщо в теплій частині ґрунтової пори випарується 1 г води, то в цій частині ґрунт втратить 585 кал. Цей грам пароподібної води, конденсуючись у холодній частині, виділить ті ж 585 кал. За рахунок цього перенесення тепла з парами води досягається температурна рівність.

Конвекція – прогрівання за рахунок струменистого перемішування рідкої та газоподібної фаз. У ґрунтах проявлення цього механізму помітне лише за високої вологості та швидкому перемішуванню вільної води.

Перенесення тепла за допомогою прямого інфрачервоного випромінювання. У ґрунтах воно представлено малою мірою. Якщо у ґрунті представлено кілька механізмів перенесення тепла, то можливо, що при зміні його вологості, ці механізми по-різному формуватимуть теплопровідність ґрунту в цілому. Спочатку в сухому ґрунті частки вільно лежать одна до одної (рис. 2.1, стадія 1). І теплоперенесення буде зумовлено лише окремими нечисленними контактами (кондукція). По мірі утворення водної плівки частки наближаються одна до одної. Збільшується число контактів, хоча вільний поровий простір ще значний, і водні «пробки», заповнені водою капіляри, не перешкоджають термопароперенесенню (стадія 2). На даний момент представлені повною мірою два основних механізми пароперенесення. Теплопровідність досягає максимальних значень. Це відбувається в момент досягнення ґрунтом вологості, близької до ВРК.

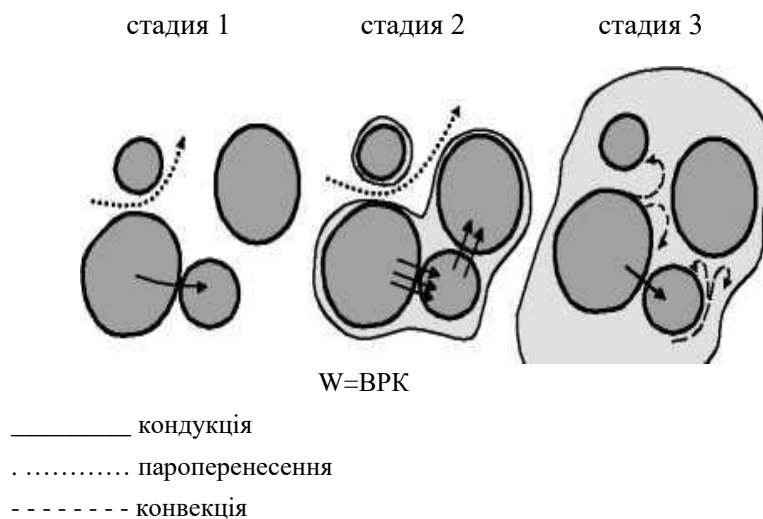


Рисунок 2.1 – Схема теплоперенесення при різній вологості ґрунту (за Шейніним Е.В., 2005)

При подальшому збільшенні вологості теплопровідність зростатиме вже слабкіше, в основному за рахунок механізму конвекції, вільної циркуляції рідини (рис. 2.1, стадія 3).

Тому і залежність коефіцієнта теплопровідності від вологості носить характер, близький до експонентного, коли після значень вологості, близьких до ВРК, крива розміщується, наближаючись до максимальних значень.

Теплообмін в ґрунті здійснюється з тепла завдяки теплопровідності від однієї частини ґрунту до іншої, молекулярної теплопровідності, теплопередачі на межі твердих частинок і середовища, випромінюванням від частинки до частинки та ін.

2.2 Моделювання потоку тепла у ґрунті

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

$$B(l) = -\lambda \frac{dT_n}{dZ}, \quad (2.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт·м⁻¹·град⁻¹.

$$\lambda = K_T \cdot C'; \quad (2.2)$$

$$K_T = \lambda / C^* = \lambda / \rho_n C_n; \quad (2.3)$$

$$K_T = X[m_i(W_1 - W_n)^2 + 10^{-3}m_2\rho_n + m_3] \cdot 10^{-7}; \quad (2.4)$$

$$C' = (C_n \cdot C_{вод} \cdot 0,01W)\rho_n, \quad (2.5)$$

де K_T – коефіцієнт температуропровідності, м²·с⁻¹;

C' – об'ємна теплоємність ґрунту, кДж·м³, °С;

ρ_n – щільність ґрунту, кг·м⁻³;

C_n – питома теплоємність ґрунту, кДж·кг⁻¹, °С;

$C_{вод}$ – питома теплоємність води становить 4,19 кДж·кг⁻¹, °С;

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

W – вологість ґрунту, %.

Значення усіх теплофізичних характеристик λ , K_T , C' залежать від властивостей і стану ґрунтів – вологості, щільності, механічного складу, які змінюються з глибиною. Із збільшенням вологості ґрунту λ і C' збільшуються, а із збільшенням ρ_n – зменшуються.

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

Питома теплоємність ґрунту C_n залежить від механічного складу ґрунту і для різних ґрунтів значення C_n наведені в табл. 2.1.

Значення емпіричних коефіцієнтів у формулі (2.4) $\{i = 1, 2, 3, 4\}$ наведені в табл. 2.2.

Рівняння (2.1) для розрахунків потоків тепла використовується у тих випадках, коли відомий розподіл температур з глибиною, тобто при наявності теплобалансових спостережень.

Таблиця 2.1 – Питома теплоємність абсолютно сухого ґрунту при позитивних температурах (за А.Ф. Чудновським та Д.А. Куртенер)

Тип ґрунту	Теплоємність, C_n , кДж/(кг·°С)
Звичайний чорнозем	1,05
Супісок	0,84
Пісок	0,75
Суглинок	0,96
Торф	2,18
Каштановий	0,84

Таблиця 2.2 – Емпіричні коефіцієнти для різних типів ґрунту (за даними Є.О. Іконникова)

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

Якщо температурне поле невідоме, то використовується рівняння теплопровідності ґрунту:

$$\rho_n C_n \frac{dT_n}{dt} = \frac{d}{dZ} \left(\lambda \cdot \frac{dT_n}{dZ} \right), \quad (2.6)$$

в якому ліва частина представляє собою зміну температури ґрунту за часом; права – приріст потоку тепла з глибиною. Р.Дж. Хенкс і Дж. Расмусен показали, якщо це рівняння (2.6) подати у залишковому вигляді, то:

$$\frac{T_i^{j+1} - T_i^j}{\Delta t} = \frac{\lambda (T_{i-1}^j - 2T_i^j + T_{i+1}^j)}{(\Delta Z)^2}, \quad (2.7)$$

де i – індекси, що визначають шари ґрунту;
 j – верхні індекси, що визначають приріст з часом;
 Δt – відрізок часу;

ΔZ – відстань між шарами ґрунту.

Якщо прийняти, що

$$\lambda[\Delta t / (\Delta Z)^2] = 0,5, \quad (2.8)$$

то рівняння (2.7) спрощується до вигляду

$$T_i^{j+1} = 0,5(T_{i-1}^j + T_{i+1}^j). \quad (2.9)$$

Отримане рівняння використовується для розрахунку температури ґрунту на будь-якій глибині та в будь-який час в умовах невстановленого теплового потоку. Для розв'язання рівняння (2.6) необхідні початкові та межові умови, які можуть бути визначені у полі або розраховані з обмеженими припущеннями. У цьому випадку температура ґрунту за попередній час j є початковою межею для подальшого $j+1$.

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

Р.Дж. Хенксом і Дж.П. Ашкрофтом отримані розрахункові дані температури ґрунту за початковими та межовими умовами (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахунок температури ґрунту за початковими і межовими даними (згідно з Р.ДжХенкс і Дж.П.Ашкрофт)

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

Примітка: Започатковані умови: температура на поверхні ґрунту за добу з інтервалом 2 год; температура в 00.00 годин на глибинах від 10 до 100 см.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Завдання: Розрахувати динаміку потоку тепла в шарах ґрунту протягом доби. Дані для розрахунків викладач видає кожному студенту індивідуально.

2.3 Загальна підготовка початкової інформації для виконання розрахунків

Для виконання розрахунків необхідно підготувати середню по області (або ж по окремій станції) агрометеорологічну інформацію, яка має три групи:

- 1) опис області (станції);
- 2) поточна агрометеорологічна інформація конкретного року;
- 3) параметри моделі.

1.1. Опис області (станції). До складу цієї групи входять:

1.1.1. φ – географічна широта центра області (станції), дається в градусах з десятими;

1.1.2. $W_{\text{нв}}$ – найменша вологомісткість метрового шару ґрунту, мм.

2.2. Поточна агрометеорологічна інформація. До складу цієї групи входить:

2.2.1. $W(0)$ – запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту на початок розрахунків;

2.2.2. Фенологічні дані – дати настання фаз розвитку: відновлення вегетації (сходи), вихід в трубку, колосіння, цвітіння, молочна стиглість, воскова стиглість. На основі цієї інформації визначається:

2.2.3. n – кількість розрахункових декад від відновлення вегетації (сходів) до воскової стиглості;

n_p – кількість днів в кожній розрахунковій декаді;

n_o – кількість днів від першого січня до відновлення вегетації (сходів);

N_1 – дата відновлення вегетації (сходів) – дата місяця, коли наступила фаза;

N_2 – порядковий номер місяця, коли настала фаза відновлення вегетації (сходів): 1 – січень, 2 – лютий і т.д.;

2.2.4. – щодакдні за весь період метеорологічні дані:

t_s – середня за декаду температура повітря, °С;

t_{ps} – середня за декаду температура поверхні ґрунту;

ss – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва;

os – сума опадів за декаду, мм;

dww – середній за декаду дефіцит насичення повітря, мб;

dv – кількість днів у розрахунковій декаді;

3.3. Параметри моделі. До складу цієї групи входять наступні характеристики:

3.3.1. W_{HB} – найменша вологомісткість метрового шару ґрунту, мм;

3.3.2. T_0 – біологічний нуль культури, для якої ведеться розрахунок;

3.3.3. $\sum t_{ef}$ – сума ефективних температур за період вегетації;

3.3.4. $\sum t_{max1}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до колосіння (викидання волоті);

3.3.5. $\sum t_{max2}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до молочної стиглості;

3.3.6. LAI_{max} – максимальна площа листової поверхні, m^2/m^2 ;

3.3.7. $W(0)$ – запаси продуктивної вологи на початок вегетації (початок розрахунків), мм;

3.3.8. SW_{req} – сумарна потреба культури у волозі за вегетаційний період;

3.3.9 – 2.3.20. T – температура поверхні ґрунту та на глибинах 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 см в 00 годин, $^{\circ}C$;

3.3.10. T – температура поверхні ґрунту в 00, 02, 04, 06, 08, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24 години, $^{\circ}C$.

2.4 Підготовка і введення вхідної інформації для виконання розрахунків на ПЕОМ

Для виконання розрахунків по кожній області на ПЕОМ створюється директорія поточних даних року виконання розрахунку.

Файлу даних, що вводяться надається ім'я «Din Tepla. dat». Зупинимося більш детально на підготовці робочого масиву «Din Tepla. dat» (Додаток В). Він готується так:

Перший рядок складається з чотирьох чисел:

- 1) назва пункту, пишеться буквами, починаючи з другої позиції;
- 2) рік складання розрахунку (прогнозу), пишеться дві останні цифри року через одну позицію після назви пункту;
- 3) дата розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після року;
- 4) місяць розрахунку, пишеться цифрами через одну позицію після дати.

Другий рядок складається з п'яти чисел:

- 1) n – кількість розрахункових декад, число ціле, записується в трьох позиціях;
- 2) $t_{об}$ – кількість днів від 1 січня (початок відліку) до дня сходів (відновлення вегетації), число ціле, записується в трьох позиціях;
- 3) $N1$ – дата сходів (відновлення вегетації) ціле число, в трьох позиціях;

4) N2 – місяць сходів (відновлення вегетації) пишеться арабськими цифрами (1 – січень, 2 – лютий, 3 – березень і т.д.), ціле число, в трьох позиціях.

5) φ – географічна широта пункту (області), хвилини виражені в частках градуса. Десятиричне число в шести позиціях з двома знаками після коми.

Третій рядок: ts – масив середньодекадних температур повітря, число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Четвертий рядок: tps – масив середньодекадної температури поверхні ґрунту, число ціле, в п'яти позиціях з одним знаком після коми;

П'ятий рядок: ss – масив інформації про кількість годин сонячного сьйва в розрахункових декадах (в середньому за один день декади), число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Шостий рядок: os – сума опадів за декаду, число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Сьомий рядок: dww – масив середніх за декаду значень дефіциту насичення повітря (мб), число ціле в п'яти позиціях з одним знаком після коми.

Восьмий рядок: dv – масив кількості днів в розрахункових декадах. число ціле, в трьох позиціях.

Дев'ятий рядок – інформаційний масив (масив "inf"). Містить вісім чисел, кожне число кодується у восьми позиціях з трьома знаками після коми:

- 1) inf(1) – $W_{\text{нв}}$ – найменша вологомісткість метрового шару ґрунту;
- 2) inf(2) – T_0 – біологічний нуль культури, °С;
- 3) inf(3) – $\sum t_{\text{еф}}$ – сума ефективних температур за період вегетації культури, °С;
- 4) inf(4) – $\sum t_{\text{max1}}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до колосіння (викидання волоті);
- 5) inf(5) – $\sum t_{\text{max2}}$ – сума ефективних температур за період від відновлення вегетації (сходів) до молочної стиглості;
- 6) inf(6) – LAI_{max} – максимальна площа листя, $\text{м}^2/\text{м}^2$;
- 7) inf(7) – $W(0)$ – запаси вологи в метровому шарі ґрунту на початок розрахунків, мм;
- 8) inf(8) – Sw_{req} – сумарна потреба рослин у волозі за вегетаційний період, мм;
- 9) inf(9) – код регіону: 1 – Полісся, 2 – Лісостеп, 3 – Північний Степ, 4 – Південний Степ, 5 – Закарпаття;

Десятий рядок – продовження інформаційного масиву (масив "inf"):
inf(10) – inf(18) – T – температура поверхні ґрунту та на глибинах 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 см в 00 годин, °С;

Одинадцятий рядок – продовження інформаційного масиву (масив "inf"):

inf(19) – T – температура поверхні ґрунту та на глибині 90 см в 00 годин, °C;

inf(20) – inf(27) – T – температура поверхні ґрунту в 00, 02, 04, 06, 08, 10, 12 годин, °C.

Дванадцятий рядок – продовження інформаційного масиву (масив "inf"):

inf(28) – inf(32) – T – температура поверхні ґрунту в 14, 16, 18, 20, 22, 24 години, °C.

2.5 Вихідна інформація – результати розрахунків

Інформація, що виводиться міститься у файлі «Din Tepла-P. res». Результати розрахунків видаються у вигляді таблиць (Додаток Г) в наступному порядку.

Спочатку видається початкова інформація для розрахунків (згідно з вимогами розділу 2.4).

Потім послідовно за кожен декаду розрахункового періоду виводиться чотири розрахункових таблиць (Додаток Г):

Таблиця R.1 містить інформацію про:

- тривалість світлого часу доби (taudn, год.);
- сумарну за добу сонячну радіацію (q, кал/см² доба);
- інтенсивність ФАР (IntFAR, кал/см² хв.);
- радіаційний баланс рослинного покриву (RLгр, кал/см² доба);
- сумі ефективних температур (ts2, °C).

Таблиця R.2 містить інформацію про:

- кількість опадів (os, мм), що випали за декаду;
- сумарне випаровування (по Харченко) за декаду (eakhr, мм);
- величину оптимального водоспоживання (по Харченко) за декаду (exr, мм);
- випаровуваність (по Алпатьєву) за декаду (Epot, мм);
- випаровуваності (по Пенману) за декаду (Epe, мм);
- розраховані запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту (W0).

Таблиця R.3 містить підсумкові оцінки умов вирощування рослин:

- потреба рослин у волозі за декаду (ptwl, мм);
- дефіцит вологи в ґрунті для нормального розвитку рослин за декаду (defwl, мм);
- значення індексу забезпеченості рослин вологою (Iwstr, %);
- значення показника посушливості Бова (Bova, відн. од.);
- значення ГТК (ГТК, відн. од.);
- величину сумарної потреби рослин у волозі від початку вегетаційного періоду наростаючим підсумком (sumpot, мм);
- величину сумарного випаровування від початку вегетаційного

періоду наростаючим підсумком (seakxг, мм).

Таблиця Р.4 містить розраховані дані про динаміку температури ґрунту в шарах ґрунту (0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90, 90-100 см) протягом доби через кожні 2 години.

ДОДАТОК В

1
KRIMSKAJ sr 20.3
11 75 07 3 45.55
02.7 04.6 07.0 09.3 11.4 13.4 15.2 16.8 18.4 19.7 20.8
4.8 05.3 07.0 7.0 07.0 09.1 09.1 10.1 10.3 10.3 10.3
16.0 15.0 12.0 12.0 12.0 12.0 13.0 00.0 00.0 18.0 08.0
2.0 02.0 03.0 04.0 05.0 06.0 07.0 08.0 09.0 10.0 10.0
04 11 10 10 10 10 10 11 10 10 05
148.000 5.000 803.000 385.000 385.000 004.500 140.000 532.000
4.000
18.600 21.800 23.200 21.800 21.000 20.000 18.800 18.500 18.0
17.0 18.600 16.800 15.5 15.6 17.3 23.9 32.1 38.7
37.4 31.9 26.5 23.2 21.5

RASCHET TEMPERATUR I V POCHVE
SOLNECHNOY RADIAZII I
WLAGOOBESPECHENNOSTI

WXODNAJ INFORMAZIJ

KRIMSKAJ sr 20

11 75 7 3 45.55

Sredn. za dekadu tempratura vozduxa (grad. C):

2.7 4.6 7.0 9.3 11.4 13.4 15.2 16.8 18.4 19.7 20.8

Sredn. za dekadu chislo chasov solnechn.sijnij:

4.8 5.3 7.0 7.0 7.0 9.1 9.1 10.1 10.3 10.3 10.3

Summa osadkov za dekadu (mm):

16.0 15.0 12.0 12.0 12.0 12.0 13.0 0.0 0.0 18.0 8.0

Sredn. za dekadu defizit vlagnosti vozduxa (mb):

2.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 10.0

Chislo dney v raschetnoy dekadě :

4 11 10 10 10 10 10 11 10 10 5

MASSIV "INF" - parametri modeli :

148.000 5.000 803.000 385.000 385.000 4.500 140.000 532.000 4.000

18.600 21.800 23.200 21.800 21.000 20.000 18.800 18.500 18.000

17.000 18.600 16.800 15.500 15.600 17.300 23.900 32.100 38.700

37.400 31.900 26.500

RESULTAT RASCHETOV

=====

TABLIZ A R.1
SOLNECHAJ RADIAZIJ I TEMPERATURA

=====

idek i cyt i taudn i q i IntFAR i SumFAR i RLrp i ts2 i

i 8 i 79 i 11.74 i 237.35 i 0.175 i 0.494 i 149.19 i 0.0 i

i 9 i 90 i 12.15 i 267.76 i 0.191 i 2.025 i 170.18 i 0.0 i

i 10	i 100	i 12.72	i 340.54	i 0.232	i 3.796	i 216.85	i 20.0
i 11	i 110	i 13.26	i 361.47	i 0.236	i 5.676	i 217.67	i 63.0
i 12	i 120	i 13.77	i 380.28	i 0.239	i 7.653	i 180.99	i 127.0
i 13	i 130	i 14.24	i 462.75	i 0.282	i 10.059	i 135.73	i 211.0
i 14	i 140	i 14.67	i 475.66	i 0.281	i 12.533	i 92.41	i 313.0
i 15	i 151	i 15.04	i 519.18	i 0.299	i 15.503	i 107.70	i 442.8
i 16	i 161	i 15.31	i 532.71	i 0.302	i 18.273	i 127.23	i 576.8
i 17	i 171	i 15.45	i 536.06	i 0.301	i 21.060	i 196.50	i 723.8
i 18	i 176	i 15.49	i 536.82	i 0.300	i 22.456	i 341.99	i 802.8

taudn-prodolgitelnost swetlogo vremeni sutok(chas)

q-summarnaj za sutki soln. adiazij (kal/sm*2 sutki)

IntFAR-intensivnost FAR (kal/sm*2 min)

SumFAR-summa FAR narost. Itogom (kkal/sm*2 period)

RLrp-radiazionnij balans rast. pokrova (kal/sm*2 sutki)

ts2-summa effektivnix temperatur vische 5 grad.

=====

T A B L I Z A R.2
X A R A K T E R I S T I K I W O D N O G O
R E G I M A P O C H V I - I

=====

i per	i cyt	i os	i eakxr	i exr	i Epot	i Epe	i ES	i TRLAI	i W0
i 8	i 79	i 16.0	i 6.8	i 7.7	i 3.9	i 4.8	i 4.2	i 0.6	i 148.0
i 9	i 90	i 15.0	i 22.2	i 25.4	i 10.7	i 16.1	i 14.1	i 2.0	i 140.8
i 10	i 100	i 12.0	i 25.4	i 32.1	i 14.6	i 20.2	i 17.4	i 2.8	i 127.4
i 11	i 110	i 12.0	i 25.3	i 34.7	i 19.5	i 23.4	i 18.2	i 5.2	i 114.1
i 12	i 120	i 12.0	i 26.8	i 37.0	i 24.4	i 27.4	i 15.1	i 12.3	i 99.3
i 13	i 130	i 12.0	i 32.9	i 47.2	i 29.2	i 35.9	i 11.1	i 24.9	i 78.4
i 14	i 140	i 13.0	i 28.7	i 48.8	i 34.1	i 38.2	i 7.4	i 30.8	i 62.7
i 15	i 151	i 0.0	i 23.3	i 59.6	i 42.9	i 49.2	i 9.9	i 39.3	i 39.4
i 16	i 161	i 0.0	i 12.6	i 55.8	i 43.9	i 48.6	i 11.0	i 37.6	i 26.8
i 17	i 171	i 18.0	i 11.5	i 56.2	i 48.8	i 51.1	i 18.2	i 32.9	i 33.4
i 18	i 176	i 8.0	i 6.2	i 28.2	i 24.4	i 22.5	i 18.0	i 4.4	i 35.2

os-summa osadkov za dekadu(mm)

eakxr-summarnoe isparenje (po Xarchenko) za dekadu(mm)

exr - optimalnoe wodopotreblenie (po Xarchenko)
za dekadu(mm)

Epot-isparjemost (po Alpatjevu) za dekadu(mm)

Epe-isparjemost (po Penmanu) za dekadu(mm)

TRLAI-potenzialnaj transpirazij (po Penmanu) za dek(mm)
 ES-potenz. isparenje s poverx.pochvi(po Penm)za dek(mm)
 w0-raschitannie zapasi vlagi v sloe 0-100sm (mm)

TABLIZA R.3
 XARAKTERISTIKI WODNOGO
 REGIMA POCHVI - II

I per I cyt i ptwl i defwl i Iwstr i Bova i GTK i sumpot i seakxr i

i 8	i 79	i 7.7	i 0.0	i 100.0	i 144.4	i 0.0	i 7.7	i 6.8
i 9	i 90	i 25.4	i 0.0	i 100.0	i 25.2	i 0.0	i 33.1	i 28.9
i 10	i 100	i 32.1	i 0.0	i 100.0	i 11.6	i 0.0	i 65.2	i 54.4
i 11	i 110	i 34.7	i 0.0	i 100.0	i 6.8	i 0.0	i 99.8	i 79.7
i 12	i 120	i 37.0	i 0.0	i 100.0	i 4.5	i 8.6	i 136.8	i 106.5
i 13	i 130	i 47.2	i 0.0	i 100.0	i 3.2	i 3.5	i 184.0	i 139.4
i 14	i 140	i 48.8	i 0.0	i 100.0	i 2.5	i 2.5	i 232.7	i 168.0
i 15	i 151	i 59.6	i 0.0	i 100.0	i 1.7	i 0.0	i 292.3	i 191.4
i 16	i 161	i 55.8	i -16.4	i 96.9	i 1.4	i 0.0	i 348.1	i 203.9
i 17	i 171	i 56.2	i -11.4	i 94.8	i 1.3	i 1.9	i 404.3	i 215.4
i 18	i 176	i 28.2	i 0.0	i 94.8	i 1.1	i 1.5	i 432.5	i 221.6

ptwl-potrebnost rasteniy vo wlage za dekadu (mm)

defwl-defizit vlagi dlj rasteniy za dekadu (mm)

(zapasi vlagi+osadki-isparjemost)

Iwstr-indeks obespechennosti rasteniy wlagoy (%)

(defizit vlagi k summarnoy potrebnosti)

Bova-pokazatel zasuschlivosti Bova (otn.ed.)

velichina pokazatelj menee 1.5 - priznak nachala zasuxi

GTK- GTK za dekadu (otn.ed.)

sumpot-summarnaj potrebnost rasteniy vo wlage za

vegetazionniy period narostajuscim itogom (mm)

seakxr-summarnoe isparenje za vegetazionniy period

narostajuscim itogom (mm)

=====

T A B L I Z A R.4
T E M P E R A T U R N I Y R E G I M P O C H V I
po glubinam vo VREMj 02,04,06,08,10 i tak dalee

=====

i VREMj i T2 i T3 i T4 i T5 i T6 i T7 i T8 i T9 i T10 i T11

i 2i	20.9	i	21.8	i	22.1	i	20.9	i	19.9	i	19.3	i	18.4	i	17.8	i	18.3	i	16.9
i 4i	19.3	i	21.5	i	21.3	i	21.0	i	20.1	i	19.1	i	18.5	i	18.3	i	18.0	i	17.6
i 6i	18.5	i	20.3	i	21.3	i	20.7	i	20.1	i	19.3	i	18.8	i	18.3	i	18.2	i	17.8
i 8i	18.0	i	19.9	i	20.5	i	20.7	i	20.0	i	19.4	i	18.8	i	18.5	i	18.2	i	18.0
i 10i	18.6	i	19.2	i	20.3	i	20.3	i	20.0	i	19.4	i	18.9	i	18.5	i	18.3	i	18.1
i 12i	21.6	i	19.4	i	19.8	i	20.2	i	19.8	i	19.5	i	18.9	i	18.6	i	18.4	i	18.2
i 14i	25.8	i	20.7	i	19.8	i	19.8	i	19.8	i	19.4	i	19.1	i	18.7	i	18.5	i	18.3
i 16i	29.7	i	22.8	i	20.2	i	19.8	i	19.6	i	19.4	i	19.0	i	18.8	i	18.6	i	18.4
i 18i	30.1	i	25.0	i	21.3	i	19.9	i	19.6	i	19.3	i	19.1	i	18.8	i	18.7	i	18.5
i 20i	28.4	i	25.7	i	22.4	i	20.5	i	19.6	i	19.4	i	19.1	i	18.9	i	18.8	i	18.6
i 22i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0	i	0.0

T2-temperatura pochvi v sloe 0-10 sm (grad.)

T3-temperatura pochvi v sloe 10-20 sm (grad.)

T4-temperatura pochvi v sloe 20-30 sm (grad.)

T5-temperatura pochvi v sloe 30-40 sm (grad.)

T6-temperatura pochvi v sloe 40-50 sm (grad.)

T7-temperatura pochvi v sloe 50-60 sm (grad.)

T8-temperatura pochvi v sloe 60-70 sm (grad.)

T9-temperatura pochvi v sloe 70-80 sm (grad.)

T10-temperatura pochvi v sloe 80-90 sm (grad.)

T11-temperatura pochvi v sloe 90-100 sm (grad.)

ПИТАННЯ ДО САМОПЕРЕВІРКИ

Тема 1. Розрахунок динаміки вологи у ґрунті

1. Що таке найменша вологомісткість ґрунту?
2. Що таке повна вологомісткість ґрунту?
3. Що таке водний потенціал ґрунту?
4. Що є головними діючими силами, відповідальними за переміщення води у ґрунті?
5. Що таке гідравлічна провідність ґрунту?

Тема 2. Розрахунок потоку тепла і температурного поля у ґрунті

1. Що таке кондукція тепла у ґрунті?
2. Що таке конвекція тепла у ґрунті?
3. За рахунок яких механізмів здійснюється теплообмін у ґрунті?
4. Що таке коефіцієнт теплопровідності ґрунту?
5. Як розраховуються потоки тепла у ґрунті?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гаськевич В.Г., Папіш І.Я., Телегуз О.Г. Фізика ґрунтів. Лабораторний практикум: навчальний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 170 с.
2. Медведєв В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В. Фізика ґрунту: навчальний посібник. Київ, 2018. 289 с.
3. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія: підручник. Одеса: «ТЕС», 2012. 629 с.
4. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем: підручник. Одеса: «Екологія», 2013. 430 с.
5. Польовий А.М., Гуцал А.І., Дронова О.О. Ґрунтознавство: підручник. Одеса: «Екологія», 2013. 667 с.
6. Польовий А.М. Фізика геосфер землі: ґрунтів, атмосфери, гідросфери. Частина I. Фізика ґрунтів: навчальний посібник. Одеса, 2022. 118 с. [Електронний ресурс].

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

7. Веріго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1963. 288 с.
8. Воронин А.Д. Основы физики почв. Москва: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.