

Міністерство освіти і науки України  
Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка  
Географічний факультет

Методичні рекомендації  
для виконання  
практичних робіт  
з дисципліни  
**“ФІЗИКА ҐРУНТУ”**

Частина II  
**ГІДРОФІЗИКА**

Київ – 2019

**Рецензенти:**

**Гаськевич В. Г.**, доктор географічних наук, професор  
(Львівський національний університет імені Івана Франка)  
**Салюк М. Р.**, кандидат географічних наук, доцент  
(Ужгородський національний університет)

*Рекомендовано до друку  
вченою радою географічного факультету  
протокол № 3 від 18 листопада 2019 року*

Методичні рекомендації для виконання практичних робіт з дисципліни “Фізика ґрунту”. Ч. II. Гідрофізика / укл. О. М. Підкова. – К. : **Принт-Сервіс**, 2019. – 44 с.

Методичні вказівки присвячені питанням гідрофізики ґрунту. Розглянуто теоретичні положення і методи визначення вологості ґрунту і його основних водно-фізичних властивостей. Представлено практичне застосування даних про вологість і водно-фізичні властивості ґрунту.

Для студентів географічних, біологічних, геологічних і агрономічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

*Дизайн обкладинки – Підкова О. М. (світлина – автора).*

**Ґрунтова волога** поряд із твердою фазою ґрунту і ґрунтовим повітрям є одною із важливих складових частин ґрунту. Їй належить надзвичайно важлива роль у ґрунтоутворенні, оскільки переміщення речовин у ґрунтовій товщі зверху вниз відбувається у вигляді розчинів. Переміщення рідкої вологи і розчинених у ній речовин у значній мірі зумовлює диференціацію генетичних ґрунтових горизонтів і формування ґрунтового профілю.

Ґрунтова волога бере участь також у багатьох процесах перетворення речовин: всі мікробіологічні процеси, з якими безпосередньо пов'язані розклад і синтез органічних речовин, протікають лише при достатній ступені вологості ґрунту. Процеси вивітрювання мінералів суттєво залежать від стану зволоження ґрунту. Фізичний стан ґрунту також безпосередньо пов'язаний з формами і кількістю води у ньому. На кінець, ґрунтова волога є важливим фактором родючості ґрунтів. Вода і розчинені у ній речовини необхідні для існування рослин.

Вода у ґрунті виконує роль терморегулюючого фактора, значною мірою визначає його тепловий баланс і температурний режим. Фізичні, фізико-механічні, технологічні властивості ґрунту залежать також від наявності води.

Вода та розчинені у ній речовини складають рідку фазу ґрунту або ґрунтовий розчин, з якого рослини через свою кореневу систему вбирають воду та поживні речовини, і який відіграє вирішальну роль у житті рослин. У залежності від ґрунтових умов вода по-різному зв'язана з твердою фазою ґрунту, що позначається на рухливості води у ґрунті та на її доступності рослинам.

Велике значення води у ґрунті, а також склад ґрунтових розчинів зумовили необхідність їх вивчення. Основною складністю вивчення ґрунтових розчинів є неможливість їх виділення з ґрунту. Для приблизного судження про склад ґрунтового розчину використовується водна витяжка, але і вона не завжди дає уявлення про істинний вміст у ньому тих чи інших речовин.

**Гідрофізика ґрунту** вивчає рідку фазу ґрунту і ґрунтові процеси, режими, явища, що пов'язані з водою у ґрунті, зокрема: вміст і форми вологи у ґрунті, енергетичні і ґрунтово-гідрологічні константи, потенціал ґрунтової вологи, повний тиск вологи у ґрунті, рух води у ґрунті, фільтрацію, інфільтрацію, транспірацію, евапотранспірацію, водопроникність ґрунту, водний режим і водний баланс ґрунту, їх складові і способи регулювання.

**Водно-фізичними (водними, гідрофізичними)** властивостями ґрунту називають сукупність властивостей, які визначають поведінку ґрунтової води в його товщі.

Основними **водно-фізичними властивостями** ґрунту є:

- ▶ *водоутримуюча здатність* ґрунту, кількісною характеристикою якої є *вологоємність*;
- ▶ *водопроникність*;
- ▶ *водопідйома здатність*;
- ▶ *потенціал ґрунтової вологи*.

Призначення методичних вказівок – ознайомлення із основними методами визначення вологості і найважливіших водно-фізичних властивостей ґрунту, практичним застосуванням і оцінюванням основних показників гідрофізичного стану ґрунтів.

Виконання практичних робіт студентами передбачає знання теоретичного матеріалу дисципліни, що дасть змогу їм правильно читати і інтерпретувати результати робіт, практично застосовувати одержані результати для генетичної і виробничої характеристики ґрунтів, розробляти заходи покращення фізичного, насамперед гідрофізичного стану ґрунтів, пропонувати способи їх раціонального використання.

Методичні вказівки складені відповідно до програми навчальної дисципліни

“Фізика ґрунту”, яка є складовою освітньо-професійної програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем “бакалавр” освітньої програми “Ґрунтознавство, управління земельними ресурсами та територіальне планування”. Також методичні вказівки можуть бути використані при вивченні навчальної дисципліни “Ґрунтознавство” студентами природничих і агрономічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

У методичних вказівках представлені також теоретичні положення гідрофізики ґрунту, де розглядаються найважливіші поняття і визначення гідрофізики, методи визначення водно-фізичних властивостей ґрунту, взаємозв’язок водно-фізичних властивостей ґрунту з його ґенезою, практичне значення гідрофізичних показників ґрунту.

# ЧАСТИНА I ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

## 1. ВОЛОГІСТЬ ҐРУНТУ

### 1.1. Поняття про вологість Ґрунту

Під **вологістю** розуміють кількісний вміст води у ґрунті, який визначається співвідношенням між надходженням води у ґрунт і її витратою з ґрунту. Для визначення цього співвідношення важливу роль відіграють такі чинники, як клімат, сезон року, рельєф, рослинний покрив, господарська діяльність – з одного боку, і властивості самого ґрунту – вологоємність, водопроникність, водопідйомна здатність, стан його поверхні – з другого.

Ґрунтова вода суттєво впливає на процеси ґрунтоутворення, зумовлюючи інтенсивність біологічних, біогеохімічних, елювіальних та гідроенно-акумулятивних процесів. Особливості водного режиму зумовлюють в одних випадках винесення речовин з низхідними гравітаційними потоками вологи (елювіальний процес), в інших – привнесення розчинених речовин до поверхні ґрунту з висхідними потоками вологи у межах капілярної кайми ґрунтових вод (гідроенно-акумулятивні процеси), що часто приводить до формування ортштейнового горизонту у гумідних регіонах і засолення ґрунтової товщі – в аридних. З коливанням вологості ґрунту пов'язані процеси перетворення речовин у ґрунті (їхнє розчинення і кристалізація, гідроліз мінералів, гідратація, окислення і відновлення), а також набухання і просідання ґрунтової маси тощо.

Вода є одним з факторів родючості ґрунту. Регулювання водного режиму щодо різних ґрунтів для одержання найвищих урожаїв є основою для розроблення раціональної агротехніки. Тому вивчення вологості ґрунту – це необхідна частина ґрунтового-генетичних, агроґрунтових, екологічних досліджень.

Практичне вивчення вологості ґрунту включає ознайомлення з особливостями відбору зразків для аналізу, способами вираження ґрунтової вологості і методами її визначення, аналіз і оцінку результатів визначення вологості ґрунтів за параметрами їхніх гідрологічних характеристик, застосування результатів визначення вологості і водних властивостей ґрунту (визначення запасів вологи і глибини промочування ґрунту, методу і норми поливу під час зрошення, вибір типу дренажних систем і розрахунок міждренажних відстаней у процесі осушення) для ґрунтового-меліоративних досліджень.

### 1.2. Відбір зразків ґрунту у польових умовах для визначення вологості

Відбираючи зразки ґрунту у польових умовах для визначення вологості, потрібно дотримуватись наступного: стежити, щоб в одну пробу не потрапив матеріал з різних горизонтів, які відмінні за гранулометричним і хімічним складом; відібрані зразки вологого ґрунту потрібно одразу герметизувати, якомога швидше транспортувати у лабораторію і зважити.

Визначають вологість ґрунту, враховуючи генетичні горизонти і геологічні нашірвання. Спочатку за морфологічними ознаками описують ґрунт, щоб відповідно до генетичних горизонтів визначити глибини відбору зразків на вологість. Зразки можна брати із свіжовідкритих розрізів, очистивши тінюву стінку розрізу перед відбором зразків на 4-5 см. Відбір зразків також виконують за допомогою бурів різної конструкції (бур Ізмаїльського, бур Качинського, бур Некрасова, бур Розанова та інші).

З наявних ґрунтових бурів різних конструкцій найдоступніший і зручний у роботі серійний бур ґрунтовий БГ-50. Він має два замічних ріжучих циліндри діаметром 50 мм і штангу з рухомою ручкою. Один із циліндрів є відкритим внизу і використовується для зв'язних ґрунтів, другий – закритий, використовується для сипучих піщаних ґрунтів. Робоча висота бура (глибина буріння) – 160 см.

Перед роботою ручку бура закріплюють за допомогою спеціального пристосування на потрібній висоті. Бур повертають ручкою за годинниковою стрілкою і вдавлюють у ґрунт, одночасно слідкують за позначками глибини його занурення у ґрунт, які

нанесені на бурі через 5 або 10 см. Зразки ґрунту беруть пошарово (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 см і т. д., у другому метровому шарі допускається збільшення інтервалу до 20-25 см). Після заповнення ґрунтом бур виймають, швидко зчищають ножем поверхню зразка, яка в ньому міститься, на завчасно підготовлену поверхню (лист фанери, металу тощо) зчищають ножем поверхню зразка, яка в ньому міститься, і відбирають частину її в алюмінієвий бюкс (у 2-3х кратній повторності), заповнюючи їх на 2/3-3/4. Злегка ущільнюють ґрунт у бюксі і загладжують його поверхню, щоб зменшити прилипання ґрунту до кришки і втрати при відкриванні. Бюкс закривають, записують його номер у спеціальному зошиті (журналі), де вказують місце закладення свердловини (ґрунтового розрізу), назву ґрунту, генетичний горизонт і глибину відбору зразка.

Заповнені бюкси за порядком вкладають або у полотняний (поліетиленовий) мішок, або спеціальний ящик з гніздами і стежать за тим, щоб вони не нагрівалися на сонці. Після закінчення буріння свердловину чи ґрунтовий розріз обов'язково засипають, ретельно утрамбовуючи ґрунт.

### 1.3. Представлення даних про вологість ґрунту

**Вологість** у ґрунтознавстві визначається як кількість води, яка міститься в одиниці маси сухого ґрунту. Важливо відмітити особливість традиційного ґрунтознавчого підходу, за яким розрахунок вологості проводиться саме на суху наважку. Тому, якщо зустрічаються значення вологості більше 100 % (при відсотковому вираженні частки води до маси сухого ґрунту), це означає, що мова йде про оторфовані ґрунти, торфи, лісові підстилки, степовий волок і т. п., коли маса сухої речовини значно менша, ніж маса води, яка міститься у цій речовині. Звичайні мінеральні ґрунти мають, як правило, діапазон зміни вологості від часток до 50 % до маси.

*Вологість ґрунту може бути виражена у абсолютних одиницях виміру* (відсоток від ваги або об'єму ґрунту, у формі запасів води) і у *відносних*, коли вологість у якийсь певний момент порівнюють з вологістю, що відповідає тій чи іншій формі вологоємності.

Існують **три способи представлення даних про вологу в ґрунті**.

1. Відношення ваги води до ваги сухого ґрунту, тобто до ваги твердої фази, – **вагова вологість** ( $W$ , г/г і, якщо помножити на 100, то у %):

$$W = \frac{m_w}{m_s}, \quad W = \frac{m_{\text{вол}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}},$$

де  $W$  – вагова вологість ґрунту, г/г або %;  $m_w$  – вага води, г;  $m_s$  – вага твердої фази, г;  $m_{\text{вол}}$  – вага вологого ґрунту, г;  $m_{\text{сух}}$  – вага сухого ґрунту (дорівнює  $m_s$ ).

2. Відношення ваги (чи об'єму) води до об'єму ґрунту ( $V_t$ ) – **об'ємна вологість** ( $\theta$ , см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>):

$$\theta = \frac{m_w}{V_t},$$

де  $\theta$  – об'ємна вологість ґрунту, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $m_w$  – вага води, г (або об'єм води, см<sup>3</sup>);  $V_t$  – об'єм ґрунту, см<sup>3</sup>.

**Об'ємна і вагова вологості взаємопов'язані через щільність будови ґрунту ( $\rho_b$ ):**

$$\theta = W \cdot \rho_b,$$

де  $\theta$  – об'ємна вологість ґрунту, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $W$  – вагова вологість ґрунту, г/г або %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

3. Важлива форма вираження вологи – у вигляді **запасів води** (ЗВ) у конкретному шарі ґрунту:

$$ЗВ = \frac{W \rho_b h}{100},$$

де  $ЗВ$  – запаси води у конкретному шарі ґрунту, мм вод. ст.;  $W$  – вагова вологість ґрунту, %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару, см.

Це балансова форма представлення даних за вологістю ґрунту. Використовується вона в основному для характеристики запасів води, балансових розрахунків, для вираження всіх складових водного балансу ґрунту в одних одиницях.

За допомогою вказаних трьох способів вираження вологості ґрунту завжди можна розрахувати кількість води у ґрунті, прихідні та витратні частини водного балансу ґрунту.

## 2. ВОДНО-ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ

### 2.1. Поняття про водно-фізичні властивості ґрунту

**Водно-фізичними (водними, гідрофізичними) властивостями ґрунту** називають сукупність властивостей, які визначають поведінку ґрунтової води в його товщі. Основними водно-фізичними властивостями ґрунту є водоутримуюча здатність ґрунту, водопроникність, водопідйомна здатність і потенціал ґрунтової води.

З фізичної точки зору вода у ґрунті може знаходитись у *рідкому, твердому і газоподібному стані*. При додатних температурах – у рідкому і газоподібному, при від’ємних – у твердому.

Рідка вода перебуває у складному фізичному взаємозв’язку з твердою та газоподібною фазами ґрунту. Переходячи з одного стану в інший, вода набуває нових властивостей.

Вода у ґрунті є у різних формах, які характеризуються перш за все різним ступенем зв’язку води з твердою фазою ґрунту. У гідрофізиці ґрунту це положення представлено *вченням про форми води у ґрунті*. Такі відомі фізики ґрунту, як О. А. Роде, С. І. Долгов, Н. А. Качинський неодноразово у спеціальних експериментах доводили, що вода у ґрунті при різному її вмісті (вологості) далеко не рівнозначна за своїми властивостями. Навіть одна і та ж вологість у різних ґрунтах може бути абсолютно різною за рухомістю, доступністю для рослин.

Наприклад, відомо, що вологість ґрунту становить 15 % до ваги ґрунту. З піщаного зразка з такою вологістю вода може вільно витікати і буде доступна рослинам, але на важкосуглинковому чи глинистому ґрунті при такій вологості рослини вже не зможуть рости – вони будуть засихати. Це свідчить про те, що абсолютна величина вологості без супровідних знань про інші фундаментальні властивості ґрунту дає обмежену інформацію. У зв’язку з цим сформульовано **вчення про форми води як про різні стани води в ґрунті**, які відрізняються за швидкістю її переміщення у ґрунті, можливістю споживання рослинами і іншими функціональними характеристиками ґрунтової води.

Якщо розмістити всі значення води, які зустрічаються у будь-якому ґрунті, на деякій осі від сухого ґрунту до максимально високої вологості, коли весь шпаровий простір ґрунту заповнений водою, то можна виділити такі **форми води**:

- ▶ *міцнов’язану* вологу;
- ▶ *нерухому* вологу;
- ▶ *зв’язану (слаборухому, плівкову, неміцнов’язану)* вологу у вигляді тонких плівок на поверхні ґрунтових часток;
- ▶ *рухому* вологу, що знаходиться в основному в капілярах;
- ▶ *вільну* вологу, яка рухається під дією сили тяжіння.

Ці якісні визначення характеризують різні форми води у ґрунті за ступенем її зв’язку з твердою фазою ґрунту (рис. 1).

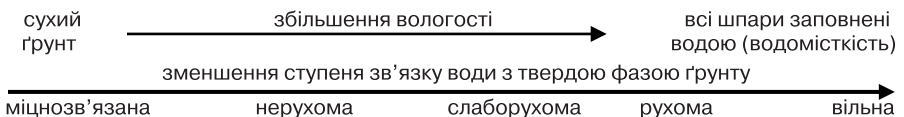


Рис. 1. Схема розподілу води у ґрунті за ступенем її зв’язку з твердою фазою ґрунту

Таке представлення форм води сприяє розгляду меж (границь), де відбувається перетворення одної форми в іншу. Якщо така межа існує, значить є відповідна вологість, яка характеризує перехід одної форми води в іншу. Цю вологість називають **вологоемністю**, підкреслюючи тим самим, що ґрунтова ємність у вигляді частини шпарового простору заповнена водою з близькими властивостями. Саме такі граничні вологості або вологоемності називаються **енергетичними константами**, вважаючи, що при кожній величині вологоемності волога утримується силами визначеної природи і енергії та характеризується визначеною формою свого існування. Знаючи такого роду енергетичні константи, можна визначати ступінь зв'язку вологи з ґрунтом, характеризувати її доступність для рослин, оцінювати багато процесів переносу води і речовин у ґрунті.

До цих теоретичних енергетичних констант наближені і **ґрунтово-гідрологічні константи** – деякі вологості у ґрунті на осі вологості, які використовуються як реперні точки для різного роду розрахунків і якісних представлень.

## 2.2. Форми води у ґрунті і енергетичні константи води

*Енергетичні константи* з'явилися в результаті теоретичних розробок і роздумів про форми води у ґрунті. Основою поділу ґрунтової вологи на окремі форми стали функціональні особливості тої чи іншої вологи у ґрунті (табл. 1). Це сприяло обґрунтуванню і ряду інших констант, які знайшли досить широке застосування у практичному ґрунтознавстві, меліорації, гідрології і інших галузях. Ці константи одержали назву *ґрунтово-гідрологічних*.

Таблиця 1

**Форми води у ґрунті і відповідні енергетичні константи (Шейн Е. В., 2005)**

Форма води у ґрунті	Максимальний вміст (вологоемність) даної форми води – енергетична константа	Теоретичне визначення константи (за Лебедєвим, 1936; Роде, 1965; Вороніним 1986 та ін.)
Адсорбована волага	Максимальна адсорбційна вологоемність (МAB)	МAB – найбільша кількість води, яка може бути міцно зв'язана ґрунтом
Плівкова волага	Максимальна молекулярна вологоемність (ММВ)	ММВ – максимальна кількість води, яка утримується у ґрунті молекулярними силами
Плівково-капілярна волага	Максимальна капілярно-сорбційна вологоемність (МКСВ)	МКСВ – вологість ґрунту, при якій проходить зміна капілярно-сорбційного механізму утримування вологи на капілярний
Капілярна волага	Капілярна вологоемність (КВ)	КВ – максимальна кількість вологи, яка утримується у ґрунті менісковими силами (капілярно-підпертої вологи)
Гравітаційна волага	Повна вологоемність (ПВ)	ПВ – вологість, яка відповідає насиченню шпарового простору водою

**Сорбована волага** – це вода, сорбована поверхнею ґрунтових часток у вигляді плівки, вона може сорбуватись як із пароподібного, так і рідкого стану. **Адсорбованою** називається тому, що концентрація води відбувається на поверхні ґрунтових часток. Фізичне зв'язування води твердою фазою ґрунту відбувається внаслідок дії молекулярних сил. Фізична суть адсорбції полягає у наявності на поверхні розділу твердої і рідкої фаз ґрунту некомпенсованих міжмолекулярних сил, які мають електричну природу. Оскільки вода має високу діелектричну сталу (74-80) і нейтральну реакцію, її молекули легко і міцно зв'язуються, сорбуються поверхнею ґрунтових шпар та дис-



персних часток, утворюючи плівки орієнтованих диполів води. Місткість фіксації сорбованих молекул води найбільша поблизу ґрунтових часток і поступово зменшується у міру віддалення від них. Відповідно зростає і рухомість води. Фізично зв'язана вода за міцністю зв'язку з твердими частинками ґрунту поділяється на *міцнозв'язану* (гігроскопічну) і *неміцнозв'язану* (плівкову).

**Міцнозв'язана вода** утворюється внаслідок сорбції водяної пари на поверхні твердих частинок ґрунту, коли вона безпосередньо приєднується до них у вигляді плівки із 2-3-ох орієнтованих шарів молекул води. Властивість ґрунту сорбувати пароподібну воду називають **гігроскопічністю ґрунтів**, а воду, увібрану таким способом, – **гігроскопічною**.

Гігроскопічна вода перебуває у ґрунті в близькому до твердого тіла стані, щільність її досягає 1,5-1,8 г/см<sup>3</sup>, замерзає при низькій температурі (від -4(10)°C до -78°C). За фізичними властивостями гігроскопічна вода наближається до твердих тіл. Вона утримується навколо поверхні ґрунтових частинок з силою 10-20 тис. атм., не розчиняє електролітів, пересувається лише при переході у пароподібну форму і недоступна рослинам. Визначають гігроскопічну вологу в ґрунті, висушуючи його при температурі 105°C.

Кількість гігроскопічної води у ґрунті залежить від ступеня насиченості повітря вологою (відносної вологості повітря) і його температури, дисперсності ґрунту, наявності у ньому органічної речовини і розчинних солей. Вміст гігроскопічної води значно підвищується у високогумусних, торфових та глинистих ґрунтах і зменшується у супіщаних та піщаних.

Найбільшу кількість води, яку може увібрати ґрунт з повітря, насиченого водяною парою близько 100 %, називають **максимальною гігроскопічністю (МГ)**. Кількість цієї води для даного ґрунту є величиною сталою.

Максимальна гігроскопічність – одна з найважливіших ґрунтово-гідрологічних констант: піщані ґрунти – 0,5-1,3 %, легкосуглинкові – 1,5-3 %, важкосуглинкові – 5-8 %, глинисті – 10-12 %, торф'яні – 18-22 %.

**Неміцнозв'язана вода (плівкова)** сорбується тільки при зіткненні ґрунтових частинок з рідкою вологою. Ця вода утримується силами молекулярного притягання (сорбційними силами тиском 1-10 атм.) понад величину максимальної гігроскопічності та утворює багаточислу плівку слабо орієнтованих молекул води. Найбільша кількість неміцнозв'язаної води може в 2-4 рази перевищувати величину максимальної гігроскопічності. На відміну від міцнозв'язаної, неміцнозв'язана волога здатна до перетікання від однієї ґрунтової частинки до іншої, тобто від частинок з товстішими плівками води до частинок з тоншими. Цей рух відбувається з дуже малою швидкістю і залежить від градієнта вологості.

Неміцнозв'язана вода видаляється з ґрунту центрифугуванням або пресуванням. Для рослин така вода доступна лише частково. Вміст її у ґрунті залежить від тих же факторів, що і вміст гігроскопічної. У середньому, для більшості ґрунтів її кількість складає 7-15 %, деколи в глинистих ґрунтах досягає 30-35 % і знижується у піщаних до 3-5 %.

Плівкова вода перебуває у в'язко-рідкому стані. Вона може рухатися в різних напрямках, від ділянок більшої вологості до меншої, але швидкість руху надто мала. Плівкова вода слабо розчиняє та пересуває солі і дуже обмежено доступна рослинам.

Стан вологості ґрунту, за якого кількість плівкової води досягає найбільшого значення, називають **максимальною молекулярною вологоємністю (ММВ)**. Вміст у ґрунті цієї води у два-чотири рази перевищує максимальну гігроскопічність.

**Вільна вода** у ґрунті знаходиться у рідкому стані, не зв'язана сорбційними силами з ґрунтовими частками і рухається під дією капілярних та гравітаційних сил. У ґрунтах така вода знаходиться у *капілярній* і *гравітаційній* формах.

До **капілярної** відносять *воду*, яка заповнює ґрунтові капіляри різної величини і форми. У останніх сили капілярної взаємодії між водою і твердою фазою ґрунту більші, ніж гравітаційні.

Капілярна вода заповнює лише найтонші капіляри між гранулометричними елементами та мікроагрегатами і рухається під впливом меніскових сил у різних напрямках. Висота ( $h$ ) капілярного руху води визначається поверхневим натягом і радіусом капілярів. При збільшенні поверхневого натягу та зменшенні радіуса капілярів висота підняття води підвищується. Дана залежність описується формулою Жюрена:

$$h = 0,15 : R,$$

де  $h$  – висота капілярного руху, см;  $R$  – радіус капілярів, см.

Меніскові сили проявляються лише в шпарах з діаметром менше 8 мм, найактивніші шпари мають діаметр від 100 до 3 мкм. Шпари більше 8 мм заповнюються гравітаційною водою або повітрям, а менше 3 мкм – зв'язаною водою.

У ґрунтах капілярна вода може бути у трьох формах – підвішеній, підпертій та посадженій. *Капілярно-підвішена вода* заповнює шпари при зволоженні ґрунту зверху (після дощу, поливу). Вона може рухатись у всіх напрямках.

*Капілярно-підперта вода* утворюється у ґрунтах при піднятті води знизу від горизонту ґрунтових вод по капілярах на деяку висоту. Може підніматись від 0,5 до 6 м. Висота й швидкість капілярного підняття води залежать від діаметра шпар, а значить – від гранулометричного складу, структурності, будови профілю ґрунту. Висота для різних ґрунтів коливається в таких межах: піщані – 18-22 см, супіщані – 100-150 см, суглинкові – 150-300 см, глинисті – 600-1000 см, лес – 250-350 см, торф – 50-80 см.

*Капілярно-посаджена вода* утворюється у шаруватій ґрунтовій товщі дрібнозернистого шару (горизонту) при підстиланні його шаром грубозернистим, над границею зміни шарів.

**Гравітаційна вода** переміщується у ґрунті під дією гравітаційних сил, тобто під дією власної ваги, знаходиться за межами впливу сорбційних і капілярних сил, рідка, має високу розчинну здатність, рухома, доступна рослинам. Ділиться на просочувану й підґрунтову.

*Просочувана вода* – це вільна гравітаційна вода, яка рухається крізь товщу ґрунту під впливом сил гравітації. Таке явище відбувається після рясних дощів, танення снігу або після поливу. Ця вода знаходиться у рідкому стані, доступна рослинам, рухається по грубих шпарах і тріщинах, має високу рухомість, розчиняє і переміщує солі, колоїдні органічні та мінеральні частини, тонкі суспензії.

Коли гравітаційна вода досягає водотривкого шару (горизонту) ґрунту, вона перетворюється на *підґрунтову (підземну) воду*. У даному стані всі шпари і проміжки у ґрунті заповнені водою (крім шпар, що містять защемлене повітря). Підґрунтові води можуть бути застійними, або стікаючими в напрямку похилу водотривкого шару. Вони доступні рослинам, але якщо коріння довгий час перебуває у їх товщі, то рослинам не вистачає кисню та поживних речовин, вони частково або повністю відмирають.

Присутність значної кількості вільної гравітаційної води у ґрунті – явище небажане, що викликає тимчасове або постійне перезволоження ґрунту, створюючи в ньому анаеробні умови і сприяючи розвитку процесів оглеення.

### 2.3. Ґрунтово-гідрологічні константи води

**Ґрунтово-гідрологічні константи** – це деякі характерні для кожного ґрунту значення вологості, які використовують при практичних розрахунках і порівняльних оцінках. Більшість цих констант виникли із практичних потреб і лише згодом став зрозумілий їхній фізичний зміст.

**Гігроскопічна вологість** ( $ГВ, W_c$ ) – це вологість ґрунту, яка характерна зразку ґрунту в атмосфері лабораторії. Відносна вологість повітря (або відносний тиск водяної пари) у лабораторії – величина хоч і дуже коливається, але не сильно змінює гігроскопічну вологість. Ця вологість потрібна для розрахунку ваги сухої наважки за даними ваги повітряно-сухої (тобто в атмосфері лабораторії) наважки.

**Максимальна гігроскопічна вологість** ( $МГ, W_{me}$ ) – це вологість ґрунту при знаходженні її в атмосфері з відносною вологістю 98 %. Це максимальна кількість вологи,

яку ґрунт може сорбувати із близького до насиченого водяною парою повітря.

**Вологість стійкого в'янення** або **вологість в'янення** ( $BB, W_{\text{вн}}$ ) – це вологість ґрунту, при якій з'являються стійкі ознаки в'янення рослин з добре розвинутою кореневою системою, які не зникають при поміщенні рослин на 12 годин в атмосферу, насичену водяною парою. Ця величина визначається методом вегетаційних мініатюр, коли рослини (як правило, ячмінь або овес, у США використовують соняшник) вирощують у невеликих стаканчиках ємністю біля 100 см<sup>3</sup> до фази третього листка. Поверхню ґрунту прикривають від випаровування піском і парафіном та перестають їх поливати. Коли з'являються ознаки в'янення, рослини ставлять на ніч у вологу камеру. І якщо після знаходження у вологій атмосфері втрата тургору буде помітна – це значить, що у ґрунті досягнута вологість, яка відповідає вологості в'янення.

**Вологість розриву капілярного зв'язку** або **вологість розриву капілярів** ( $BPК, W_{\text{врк}}$ ) – це константа, запропонована О. А. Роде і М. М. Абрамовою, яка відповідає максимальній молекулярній вологоємності. Загальноприйнятих лабораторних експериментальних методів визначення цієї величини не має, є лише польові методи її визначення. Ця ґрунтово-гідрологічна константа дуже важлива. Вона характеризує помітне зменшення рухомості ґрунтової вологи, коли ґрунтова капілярна волога вже не представляє собою єдиного гідравлічного зв'язку, а розпадається на окремі капіляри і залишається у вигляді плівок. Рух води, її доступність для рослин різко знижуються. І хоча загальноприйнятих методів визначення її не має, інколи цю величину вважають близькою до 70 % від найменшої вологоємності для суглинкових ґрунтів, а для піщаних і супіщаних – близько 50-60 % від останньої.

**Найменша вологоємність** ( $HB, W_{\text{не}}$ ), синоніми **загальна вологоємність**, за Н. А. Качинським, **польова вологоємність**, **гранична польова вологоємність** – це найбільша кількість вологи, яку ґрунт здатний утримувати капілярними силами після вільного стікання гравітаційної вологи. Ця величина має дуже важливе практичне значення, за нею визначають потреби і норми поливу рослин, орієнтують норми осушення та ін.

Найменша вологоємність – вологість, яка встановлюється після стікання надлишку води попередньо насиченого ґрунту, досягається, як правило, через 2-3 дні після інтенсивного дощу або поливу гомогенного ґрунту, що добре дренується. Таке визначення говорить про спосіб експериментального визначенням цієї величини, підкреслює декілька досить важливих моментів:

- ▶ найменша вологоємність визначається тільки в умовах доброго дренажу, для автоморфних ґрунтів;
- ▶ найменша вологоємність визначається тільки для ґрунтів з гомогенним профілем, в якому не має чергування горизонтів (шарів) з різним гранулометричним складом, щільністю і т. п., тобто не може виникнути капілярно-підпертої води або верховодки;
- ▶ найменша вологоємність визначається у ґрунтах у той момент, коли закінчується стікання надлишку води. Під “надлишком” переважно розуміють гравітаційне стікання.

Ці умови обмежують експериментальне визначення найменшої вологоємності, яке строго відповідає теоретичному визначенню. Більше того, виникають і ще деякі запитання, зокрема, чому визначати вологість через 2-3 дні? Для суглинкових ґрунтів цей факт доведений дослідним шляхом. Через 2-3 дні припиняється гравітаційне стікання, хоча інші форми води продовжують пересуватись вниз під дією гравітаційних сил. Можна вважати, що це загальноновизнаний, практично важливий факт, який прийнятий на основі ґрунтово-гідрологічної і меліоративної практики.

**Капілярна вологоємність** ( $KB, W_{\text{ка}}$ ) – це рівноважна вологість ґрунту, яка знаходиться у межах капілярної кайми ґрунтових вод і представляє собою максимальну кількість капілярно-підпертої води. **Капілярна кайма** – шар капілярно-підпертої вологи над дзеркалом ґрунтових вод.

Величина капілярної вологоємності того чи іншого горизонту ґрунту залежить не

тільки від властивостей ґрунту (дисперсного стану і гумусованості, будови шпарового простору тощо), але й від положення цього горизонту над рівнем ґрунтових вод. Безпосередньо над дзеркалом ґрунтових вод капілярна вологемність мало відрізняється від повної вологемності, а на верхній межі капілярної кайми вона дорівнює найменшій вологемності. Тому капілярна вологемність не може бути виміряна однозначно, а є функцією від висоти над рівнем ґрунтових вод.

Розподіл вологи у межах капілярної кайми необхідно знати у процесі вивчення ґрунтів, які формуються при близькому заляганні ґрунтових вод. У таких умовах капілярно-підперта волога відіграє провідну роль у вологозабезпеченні рослин і безпосередньо впливає на ґрунтові процеси (оглеєння, засолення, елювіювання тощо). Визначається у польових або лабораторних умовах.

**Повна вологемність** ( $PВ, W_{не}$ ) – це максимальна кількість води, яка може знаходитися у ґрунті природного складення під час його затоплення. Іншими словами, повна вологемність – це водомісткість ґрунтів.

Стан вологості, постійно наближений до повної вологемності, характерний для болотних ґрунтів. Автоморфні ґрунти майже ніколи не бувають у стані їхньої повної вологемності, цей стан характерний тільки для верхніх горизонтів під час інтенсивних затяжних дощів. Величина повної вологемності залежить від гранулометричного складу, гумусованості, оструктуреності і складення ґрунту.

Багато ґрунтово-гідрологічних констант співпадають з енергетичними константами. Їхню відповідність можна відобразити у наступній схемі-таблиці (табл. 2).

Таблиця 2

**Форми води, енергетичні і ґрунтово-гідрологічні константи  
для всієї області вологості в ґрунті (Шейн Е. В., 2005)**

Сухий ґрунт	ГВ	МГ	ВВ	ВРК	НВ	КВ	ПВ
> зменшення ступеня зв'язку води з твердою фазою ґрунту >							
Сухий ґрунт		МАВ	ММВ		МКСВ	КВ	ПВ
Форма зв'язку	міцнов'язана		неміцно-зв'язана		слабозв'язана	незв'язана	
Рухомість	нерухома		слаборухома		рухома	рухома	вільна
Стан	адсобрована		плівкова		плівково-капілярна	капілярна	гравітаційна
Механізм утримування (фізична природа сил)	молекулярні хімічні електростатичні		поверхнево-молекулярні		капілярно-сорбційні	капілярні	гравітаційні
Природні об'єкти	тонкі поверхневі шари ґрунту повного фізичного висушування		шари ґрунту від слабого до повного біологічного висушування		шар ґрунту після тривалого (більше двох діб) вільного стікання	капілярна кайма над ґрунтовими водами, горизонт з підперто-підвищеною вологою (при зміні шарів за гранулометр. складом)	ґрунтові води, ґрунтові верховодки, надмерзлотні верховодки

Існує деяке правило (але не завжди дотримується) про співвідношення величин вологості, які відповідають ґрунтово-гідрологічним константам. Співвідношення наступне:  $ПВ : НВ : ВРК : ВВ : МГ = 1 : 0,5 : 0,35 : 0,25 : 0,05$ . Це правило (дуже важливо) можна застосовувати лише для орієнтації у величинах ґрунтово-гідрологічних констант, але воно не непридатне для кількісних розрахунків. Основою для знаходження величин ґрунтово-гідрологічних констант є їх експериментальне визначення.

**ПВ-НВ** – *діапазон рухомої вологи*. Вказує на кількість води, яка може стекти при наявності вільного стоку з товщі ґрунту, що розглядається.

**ПВ-КВ** або **ПВ-динамічна вологоємність** – *водовіддача*. Це кількісна характеристика, яка відображає кількість води, що витікає з ґрунтового горизонту (шару) при зниженні рівня ґрунтових вод від верхньої до нижньої межі цього горизонту (шару). Якщо рівень ґрунтових вод опустився значно нижче ґрунтового горизонту (шару), що розглядається, то для розрахунку водовіддачі використовують різницю між повною і найменшою вологоємністю. Якщо ж рівень залишився у межах горизонту (шару), що розглядається, то між повною і динамічною вологоємністю, тобто враховують розподіл вологи у капілярній каймі ґрунтових вод.

**НВ-ВВ** – *діапазон доступної (продуктивної) вологи*. Для різних ґрунтів діапазон, який вказує на кількість доступної для рослин вологи, може бути різним. Наприклад, у піщаних ґрунтах він може досягати 6-8 %, в суглинкових – 12-17 %. Відповідно, суглинкові ґрунти містять більше продуктивної вологи, ніж піщані. Важкосуглинкові ґрунти будуть містити більшу кількість вологи, ніж середньо- і легкосуглинкові. А от в глинах, і тим більше в важких глинах, доступної вологи може бути менше, ніж в середньо- і важкосуглинкових ґрунтах. У глинах різко зростає кількість зв'язаної води, більше зростає вологість в'янення, ніж найменша вологоємність. Тому залежність кількості доступної вологи від гранулометричного складу має максимум, який припадає на середньо- і важкосуглинкові ґрунти. Однак і ця залежність – це лише відображення загальної тенденції. Вона може суттєво змінюватись при зміні мінералогічного складу, структури ґрунту.

**НВ-ВРК** – *діапазон легкорухомої, легкодоступної для рослин вологи*. Це найбільш ефективна частина тої продуктивної вологи, яка характеризується діапазоном НВ-ВВ. Інколи його заміняють іншим – НВ-70 % НВ. Цей діапазон вологості слід підтримувати у кореневому шарі, щоб уникнути непродуктивної втрати вологи на стікання її у нижче лежачі горизонти, і в той же час сприяти найбільш ефективній роботі фотосинтетичного апарату рослин.

## 2.4. Водопроникність ґрунту

**Водопроникність** – це здатність ґрунту вбирати воду, яка надходить на його поверхню, проводити цю воду від шару до шару у ненасичених водою горизонтах і фільтрувати її через певну товщу повністю насичених водою горизонтів.

Під час надходження води на поверхню ґрунту, ненасиченого вологою, послідовно здійснюються різні процеси: всмоктування, тобто вбирання води під впливом градієнтів сорбційних і меніскових сил (характеризується *коефіцієнтом вбирання*); просочування, під час якого сорбційні сили у міру зволоження поступово слабнуть, переважаючими стають меніскові сили, і фільтрація, тобто рух води крізь насичену водою товщу під впливом гравітаційних сил і градієнта натиску води на поверхні ґрунту (характеризується *коефіцієнтом фільтрації*).

Після припинення надходження води зверху відбувається перерозподіл її у ґрунтово-підґрунтовій товщі – стікання у нижні горизонти і шари. Цей процес характеризується *коефіцієнтом водовіддачі*. У природних умовах розмежувати окремі процеси майже неможливо. Фільтрація у чистому вигляді простежується у днищах водоймищ, рік, а також під час надходження на ґрунт великого потоку води, коли всі шари до верховодки або ґрунтових вод повністю насичені водою.

Водопроникність – важлива генетична, агрономічна і меліоративна характеристика ґрунту. Від цієї властивості залежить ступінь вбирання ґрунтом атмосферних опадів або поливних вод, інтенсивність процесів водної ерозії, формування генетичних горизонтів ґрунту тощо.

## 2.5. Водопідйомна здатність ґрунту

**Водопідйомна здатність ґрунту** – це властивість ґрунту викликати висхідний рух вологи під впливом капілярних сил. Капілярні сили починають уже проявлятися у

шпарах з діаметром 8 мм, але особливо яскраво виражені у шпарах діаметром 0,1-0,003 мм. Тонші шпари здебільшого заповнені зв'язаною водою або защемленим повітрям, а шпари більше 8 мм – гравітаційною водою або вільним повітрям.

Згідно з формулами Дж. Жюрена і Ж. Л. М. Пуазейля, у однорідних ґрунтах можливіший підйом води на значно більшу висоту, ніж це відбувається у природі – на 75 м і більше. Зі зміною гранулометричного складу (ґрунт стає важчим) водопадіймна сила спочатку зростає до певної межі, а потім починає зменшуватись. Це зумовлено тим, що капілярна вода переміщується не в усьому об'ємі шпар, а лише в діяльному їхньому просвітку. Для піщаних ґрунтів максимальна висота підйому води над рівнем ґрунтових вод становить 0,5-0,7 м, для суглинкових – 3-6 м.

Завдяки капілярним явищам і водопадіймній здатності ґрунтів, ґрунтові води беруть участь у додатковому забезпеченні рослин водою, розвитку відновних процесів і засолених ґрунтового профілю.

Висхідний рух властивий не тільки капілярно-підпертій, але й капілярно-підвищеній воді. Переміщення останньої припиняється тільки після втрати суцільності заповнення капілярів водою. Тому безструктурні ґрунти, у яких абсолютно переважають капілярні шпари, втрачають багато води на випаровування. У структурних ґрунтах капілярна вода менш рухома завдяки роз'єднаності капілярів грубими міжагрегатними шпарами і камерами, тому краще зберігається і більш рівномірно використовується рослинами. Одним із заходів зменшення втрат води на випаровування є глибоке розпушування і оструктурування ґрунтів.

## 2.6. Потенціал ґрунтової вологи

**Потенціал ґрунтової вологи** – корисна робота на одиницю кількості води, яку потрібно затратити, щоб перемістити зворотньо та ізотермічно безкінечно малу кількість води з резервуару з чистою водою, який знаходиться на стандартній висоті над рівнем моря, у ґрунтову вологу в конкретному місці при незмінному зовнішньому тиску.

Слід відмітити кілька характерних моментів, які містяться в цьому визначенні.

► “...корисна робота на одиницю кількості води”. З цього випливає, що потенціал має розмірність (робота/маса, у системі СІ – дж/кг). У фізиці ґрунтів найчастіше використовують одиниці вимірювання тиску вологи в ґрунті в см водного стовпа (см вод. ст.) – тиск стовпа чистої води висотою 1 см.

► “... безкінечно мала кількість води” – це вказує на те, що при переміщенні води не відбувається втрата енергії на тертя. Лише корисна робота по переміщенню.

► “... зворотньо та ізотермічно” – вказує, що потенціал ізотермічний, і його можна використовувати лише при близьких до постійних температурах.

► “... з резервуару з чистою водою”. Підкреслюється, що нульовий рівень порівняння – чиста вода. Якщо у ґрунтовій волозі будуть розчинені солі, то з'явиться додаткова складова, пов'язана з осмотичною дією солей, – осмотичний потенціал, або, з врахуванням розмінностей, осмотичний тиск.

► “...з резервуару..., який знаходиться на стандартній висоті над рівнем моря, у ґрунтову вологу в конкретному місці”. Це підкреслює, що потенціал може змінюватись при переміщенні води по вертикалі, тобто залежить від висоти над рівнем моря. При цьому виникає гравітаційна складова потенціалу, яка виражається у вигляді відстані по вертикалі (висоти) між точкою, яка розглядається у ґрунті, і стандартним рівнем порівняння. Як правило, за цей рівень приймають денну поверхню ґрунту в місці розгляду. Ця складова має розмірність висоти водного стовпа, наприклад см вод. ст.

► “...при незмінному зовнішньому тиску” – також вказує, що якщо зовнішній тиск (газовий або механічний) зміниться, то це призведе до виникнення додаткових складових потенціалу вологи – зовнішнього газового і механічного потенціалів (або тисків).



## ЧАСТИНА II

### ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ І ОСНОВНИХ ВОДНО-ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТУ

#### 1. ВИЗНАЧЕННЯ ГІГРОСКОПІЧНОЇ ВОЛОГИ ГРУНТУ

Ґрунт, як полідисперсна система, характеризується *гігроскопічністю* – властивістю вбирати (адсорбувати) на поверхні своїх частин пароподібну вологу з повітря, яке з ним стикається. **Гігроскопічна волога ґрунту** – це кількість пароподібної води, що утримується сорбційними силами на поверхні твердої фази ґрунту, що тривалий час перебуває в умовах кімнатної температури і вологості повітря. Вміст її у ґрунті залежить насамперед від гранулометричного, мінералогічного і хімічного складу ґрунту, рівня дисперсності, кількості та якості колоїдів, вмісту гумусу, а також відносної вологості повітря. Чим більша дисперсність ґрунту, чим більше у ньому органічно-мінеральних колоїдів, тим вища його гігроскопічність. З іншого боку, чим вища вологість повітря, тим більше у ґрунті гігроскопічної вологи.

Гігроскопічна волога – дуже важливий показник, визначення якого передують будь-якому аналізу ґрунту. По-перше, величина гігроскопічної вологи необхідна для розрахунку кількості сухого ґрунту у взятій для аналізу наважці. По-друге, сама по собі величина гігроскопічної вологи є достатньо інформативною, особливо для зразків ґрунтів, давно привезених з поля. Вона дає перше уявлення про гранулометричний склад ґрунту, опосередковано вказує на його хіміко-мінералогічний склад і вміст гумусу.

У разі визначення тих чи інших складових частин ґрунту необхідно враховувати кількість гігроскопічної вологи та всі розрахунки проводити на сухий ґрунт. Тільки за цієї умови можна одержати порівнювальні результати.

Найбільш простим та поширеним методом визначення гігроскопічної вологи ґрунту є **термостатно-ваговий**, при якому висушування повітряно-сухого ґрунту до сухого стану проводиться при температурі 105°C у сушильній шафі або термостаті.

##### 1.1. Методика визначення гігроскопічної вологи ґрунту

На вазі зважують порожній алюмінієвий бюкс з кришкою. Поміщають у нього 5 г підготовленого дрібнозему, зважують бюкс з повітряно-сухим ґрунтом. Ставлять цей бюкс з ґрунтом у сушильну шафу. Кришку бюкса потрібно відкрити і покласти її боком або поряд з ним. Ґрунт висушують протягом трьох-чотирьох годин при температурі 105°C. У випадку засолених ґрунтів, які містять мінерали-солі з наявністю кристалогідратної води у кристалічній гратці (гіпс, мірабіліт), висушування проводять спочатку при температурі 60°C, коли починає виділятися кристалогідратна вода. Втрати кристалогідратної води після висушування ґрунту фіксують шляхом різниці між вагою повітряно-сухого ґрунту і ґрунту після висушування. Після цього ґрунт продовжують висушувати при температурі 105°C.

Після висушування бюкс з ґрунтом виймають щипцями з гумовими наконечниками та переносять в ексикатор, закривши після цього кришку ексикатора. Зразки охолоджують в ексикаторі протягом 20-30 хвилин. Охолоджені бюкси з сухим ґрунтом зважують. При цьому кришка має бути закритою, бо сухий ґрунт інтенсивно вбирає вологу з повітря і знову стає повітряно-сухим.

Зважені бюкси з ґрунтом знову ставлять у сушильну шафу для контрольного висушування на 30-60 хвилин при температурі 105°C, охолоджують в ексикаторі та знову зважують. Якщо результати першого та другого (контрольного) зважування збігаються, то гігроскопічна волога виділена повністю. В іншому випадку висушування виконують утретє ще протягом 30-ти хвилин. Допустимі розходження у вазі після контрольного сушіння – 0,03-0,05 г. Після висушування та зважування розраховують вміст гігроскопічної вологи і коефіцієнт гігроскопічності.

*Гігроскопічну вологу (W)* вираховують у відсотках від ваги сухої наважки за формулою:

$$W = \frac{a \cdot 100}{b},$$

де  $W$  – гігроскопічна волога ґрунту, %;  $a$  – кількість води, яка випарувалась із взятої на аналіз наважки, г;  $b$  – вага сухого ґрунту (без гігроскопічної вологи), г.

Результати визначення гігроскопічної вологи заносять у таблицю 3.

Визначаючи вміст різних складових речовин у ґрунті, необхідно проводити розрахунки на сухий ґрунт. Для цього використовують коефіцієнт гігроскопічності, на який множать кількісний результат досліджень властивостей ґрунту.

Коефіцієнт гігроскопічності ( $K$ ) розраховують за формулою:

$$K = \frac{100}{100 - W},$$

де  $K$  – коефіцієнт гігроскопічності;  $W$  – гігроскопічна волога ґрунту, %.

Результати визначення коефіцієнта гігроскопічності заносять у таблицю 3.

Таблиця 3

**Визначення гігроскопічної вологи ґрунту**

№ розрізу, глибина відбору зразка, см	Назва ґрунту	№ бюкса	Вага порожнього бюкса, г	Вага бюкса з ґрунтом до висушування, г	Вага бюкса з ґрунтом після висушування, г	Вага сухого ґрунту, г	Кількість води у наважці ґрунту, г	Гігроскопічна волога, %	Коефіцієнт гігроскопічності

Після проведених обчислень і заповнення таблиці роблять висновок про гігроскопічність ґрунту.



## 2. ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ГІГРОСКОПІЧНОСТІ ҐРУНТУ

**Максимальна гігроскопічність** – це найбільша кількість води, яку сухий ґрунт може увібрати з повітря, майже повністю насиченого парами води (при відносній вологості 96-98 %). Величина максимальної гігроскопічності залежить від гранулометричного складу, кількості та якості колоїдів, вмісту гумусу та питомої поверхні ґрунту. Важкі ґрунти з великою питомою поверхнею, високою кількістю гідрофільних колоїдів і підвищеним вмістом гумусу мають значно більшу максимальну гігроскопічність, ніж легкі. У мінеральних ґрунтах величина максимальної гігроскопічності коливається у межах від 0,5-1 % у піщаних відмінах до 10-15 % у глинистих. У торфях максимальна гігроскопічність становить 30-40 %.

У агрономічному ґрунтознавстві для характеристики водного режиму важливо знати не тільки загальну кількість води у ґрунті на даний момент, але й ту кількість, яка доступна і недоступна рослинам. Тобто необхідно мати уявлення про *коефіцієнт в'янення рослин*, або *критичну вологість ґрунту*.

Кількість води у ґрунті, яка відповідає максимальній гігроскопічності, міцно утримується на поверхні ґрунтових часток, рослинам зовсім недоступна і є для них мертвим запасом. Виходячи з величини максимальної гігроскопічності, можна розрахунковим шляхом одержати приблизне значення коефіцієнта в'янення. Для цього необхідно величину максимальної гігроскопічності даного ґрунту збільшити у півтори-три рази. Ця величина коефіцієнта в'янення є орієнтовною, оскільки величина вологості ґрунту, при якій починають в'янути рослини, залежить від типу ґрунту, виду та фази розвитку рослини, а також від погодних умов.

Величину максимальної гігроскопічності ґрунту визначають адсорбційним методом, за нерозчинними об'ємом або незамерзаючою водою.

**Адсорбційний метод** визначення максимальної гігроскопічної води ґрунту вперше запропонував С. Богданов, згодом Н. Качинський і А. Ніколаєв удосконалили його. Суть методу полягає у тому, що для того, щоб ґрунт став максимально гігроскопічним, його тримають тривалий час в атмосфері з вологістю повітря, близькою до насичення. Деякий дефіцит води необхідний тому, що за 100%-ої відносної вологості повітря у ґрунт надходить не тільки пароподібна, але й крапельно-рідка вода, і величина максимальної гігроскопічності ґрунту буде завищеною.

Класичним методом визначення максимальної гігроскопічності є *метод Мітчерліхта*, вдосконалений Н. А. Качинським. Метод заснований на насиченні повітряно-сухої наважки ґрунту водяною паром у вакуумі над 10%-им розчином сірчаної кислоти. Але цей метод громіздкий, потребує багаторазової заміни розчину кислоти.

Зараз широко застосовується більш простий і не менш точний **метод А. В. Ніколаєва**, у якому замість кислоти застосовується насичений розчин сірчанокислового калію, відносна пружність водяної пари над яким дорівнює 98 %.

### 2.1. Методика визначення максимальної гігроскопічності ґрунту

Зважають на аналітичних вагах наперед висушений скляний чи металевий бюкс (залежно від розчину, що використовується для насичення). Відважують у бюкс на аналітичних вагах 5-10 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито з діаметром отворів 1 мм. Відкриті бюкси з ґрунтом ставлять на фарфорову решітку ексикатора, на дно якого налито 10%-ий розчин  $H_2SO_4$  щільністю 1,067 г/см<sup>3</sup> (встановлюють ареометром) із розрахунку 2 мм на 1 г ґрунту. Ексикатор закривають кришкою. У замкнутому просторі над 10%-им розчином  $H_2SO_4$  встановлюється відносна вологість повітря 96-98 %.

Замість розчину сірчаної кислоти можна використовувати насичений розчин  $K_2SO_4$  (100 г солі розчиняють в 1 л дистильованої води), насиченість якого встановлюють за наявністю кристалів солі у розчині. Цей розчин має переваги над сірчаною кислотою: 1) завдяки надлишку твердої солі концентрація розчину  $K_2SO_4$  завжди постійна, у той час як концентрація розчину сірчаної кислоти помітно зростає у процесі вбирання води з повітря над розчином, 2) використання нейтральної солі  $K_2SO_4$  дає

зможу використовувати металеві бюкси.

Ексикатор поміщають в умови, де температурні коливання мінімальні – у шафу, під ватне покривало тощо. Через 4-5 днів ексикатор відкривають, бюкси швидко закривають кришкою і зважують на аналітичній вазі з точністю до 0,0001 г. Насичують ґрунт до постійної ваги або до того часу, поки різниця між останнім і попереднім контролем буде не більше 0,0005 г. Використовуючи  $H_2SO_4$ , після першого і другого зважувань зразків змінюють розчин. Зміна розчину  $K_2SO_4$  не потрібна. Тривалість насичення – приблизно місяць.

Насиченість ґрунту у вакуумі відбувається значно швидше. Для цього використовують спеціальні вакуумні ексикатори з тиском усередині них 20-21 кПа. Після насичення визначають вологість насиченого зразка термостатно-ваговим методом аналогічно гігроскопічній вологості. Одержані дані записують у формі таблиці 4.

Таблиця 4

**Визначення максимальної гігроскопічності ґрунту**

№ розрізу, глибина відбору зразка, см	Назва ґрунту	№ бюкса	Вага бюкса, г			Вага бюкса з ґрунтом після висушування, г			Вага води у наважці ґрунту, г	Вага сухого ґрунту, г	Максимальна гігроскопічність, %
			порожнього	з повітряно-сухим ґрунтом	з насиченим ґрунтом	1	2	3			

Величину максимальної гігроскопічності використовують для наближеної оцінки глинистості ґрунту, розмірів його поверхневої енергії. Так, у піщаних ґрунтах максимальна гігроскопічність становить лише декілька десятих часток відсотка від ваги сухого ґрунту, у суглинкових зростає до 3-5-8 %, у важкоглинистих – до 10-15 %, у торфах – до 20 % і більше. Вивчення максимальної гігроскопічності у профілі ґрунту, який сформувався на однорідній за гранулометричним складом породі, добре виявляє елювіально-ілювіальну диференціацію профілю. На основі величини максимальної гігроскопічності розраховують об'єм неактивної шпаруватості ґрунту, вологість в'янення рослин (добуток величини максимальної гігроскопічності на коефіцієнт в'янення 1,34 або 1,5), а також питому поверхню ґрунту  $S$ , яку розраховують за формулою:

$$S = 4 \cdot W_{me},$$

де  $S$  – питома поверхня ґрунту,  $m^2/g$ ,  $W_{me}$  – максимальна гігроскопічність, %.

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ В'ЯНЕННЯ

**Вологість в'янення** або **вологість стійкого в'янення рослин** характеризує нижню межу продуктивної для рослин вологи, що має важливе значення для агрохімічної і агроеліоративної характеристик ґрунту. Найявністю вологості в'янення простежується за появою перших ознак в'янення (втрата тургору) рослин з добре розвинутою кореневою системою. Причому, ці ознаки не зникають і при тривалому перебуванні рослин у насиченій водяною паром атмосфері (при перенесенні їх у сприятливі умови). Висушування ґрунту до вологості в'янення не приводить до загибелі рослин, але спричиняє припинення приросту і зменшення сухої ваги рослин. Ґрунтова волога при вологості в'янення ще не є повністю недоступною, але вже непродуктивна.

Величина вологості в'янення більшою мірою залежить від властивостей ґрунту, ніж від виду рослин. Насамперед залежить від гранулометричного складу ґрунту і вмісту гумусу. Чим важчий гранулометричний склад і чим більше гумусу у ґрунті, тим вища ця вологість. У піщаних ґрунтах вологість в'янення не перевищує 1,5 %, у суглинкових вона коливається від 3,5 до 12, на глинистих досягає 20, а на торфях перевищує 50 % від маси сухого ґрунту (табл. 5).

Таблиця 5

**Вологість в'янення ґрунтів різного гранулометричного складу і торфів**  
(за С. А. Вериги, Л. О. Разумовою)

Гранулометричний склад		Вологість в'янення, % від маси ґрунту
Пісок		0,5-1,5
Супісок		1,5-4,0
Суглинок	легкий	3,5-7,0
	середній	5,0-9,0
	важкий	8,0-12,0
Глина		12,0-20,0
Торф низовий		40,0-50,0

Для визначення вологості в'янення використовують як розрахункові (за максимальною гігроскопічністю), так і прямі методи визначення (метод вегетаційних мініатюр, польові методи).

Найдоступнішим серед прямих методів визначення вологості в'янення є **метод вегетаційних мініатюр** (біологічний метод). Суть методу полягає у тому, що вологість ґрунту визначають у той момент, коли вирощувана рослина з добре розвинутою кореневою системою стійко в'яне через висушування ґрунту, хоча всі інші фактори (світло, температура, вологість повітря, елементи живлення) є оптимальними.

#### 3.1. Методика визначення вологості в'янення

**Метод вегетаційних мініатюр (метод проростків, біологічний метод).** У склянки висотою 6-7 см та діаметром 4 см насипають грубозернистий пісок шаром 1 см, у який вставляють скляну трубку довжиною 8-9 см, а потім заповнюють склянку з піском майже до верху повітряно-сухим ґрунтом (дрібноземом). У ґрунт висівають 4-5 зерен пророслого ячменю. Ґрунт звожують через трубку до появи капілярної води на поверхні.

Склянки ставлять у термостат, де підтримують температуру 20-25°C, або у шафу при кімнатній температурі. Коли у проростків з'являється перший листок, у кожній склянці залишають по 3 однаково розвинутих рослини. Склянки витримують в освітленому приміщенні, але не на сонці. Воду, яка випаровується, поповнюють за вагою, щодня доливаючи її через трубку.

Коли другий листок ячменю стане більший від першого, ґрунт поливають останній раз і поверхню ґрунту заливають розплавленою, але охолодженою сумішшю парафіну і технічного вазеліну (за масою 4:1). На скляну трубку надягають ковпачок або закривають ватним тампоном. Для газообміну у застиглій суміші роблять декілька

проколів шпилькою.

У момент початку в'янення рослини склянку переносять у камеру (ексикатор з водою на дні), у якій повітря насичене водяною парою. Якщо тургор у рослин за ніч відновлюється, то їх знову виставляють у світле приміщення, доки вони не досягнуть стійкого в'янення.

Рослини під час першого етапу в'янення (в'янення одного-двох нижніх листків) відновлюють тургор за ніч, при стійкому в'яненні тургор не відновлюється. У цьому випадку склянку відкривають, знімають парафінову кірку і шар ґрунту товщиною 1-1,5 см. Решту ґрунту висипають у фарфорову чашку. Нижній шар ґрунту, пісок, рослини та насіння викидають. У цій же сушильній склянці ґрунт сушать до постійної ваги і визначають вологість у відсотках, яка і відповідає вологості в'янення рослини.

Вологість в'янення розраховують у відсотках від ваги сухого ґрунту і в міліметрах водного стовпчика.

Одержану вегетаційним методом величину вологості в'янення додатково перевіряють, розраховуючи її за величиною максимальної гігроскопічності за формулою:

$$BB = 1,34 \cdot W_{\text{мг}}$$

де  $BB$  – вологість в'янення, %;  $W_{\text{мг}}$  – максимальна гігроскопічність, %.

**Метод обезводнювання (за Францессоном).** В. А. Францессон (1951) запропонував визначати  $BB$  обезводнюванням капілярно-зволоженого зразка ґрунту розчином сірчаної кислоти, що, на думку автора, більше відповідає природним умовам.

Повітряно-сухі зразки ґрунту капілярно насичують водою протягом двох тижнів або відбирають у полі вологі зразки ґрунту. При високій польовій вологості зразки відразу потрапляють на аналіз.

У наперед зважені бюкси беруть наважки вологого ґрунту масою 3 г. Бюкси розміщують на фарфоровій підставці у вакуум-ексикаторі, на дно якого наливають 10%-ий розчин  $H_2SO_4$ . Ексикатор щільно закривають кришкою, краї якої змащують вазеліном. У ексикаторі створюють розрідження 2,25-3,82 кПа за допомогою масляного або водоструминного насоса. Ексикатор повинен бути перевірений на міцність та герметичність, а всі роботи з ним слід проводити у захисних окулярах. Ексикатор треба накривати тканиною.

Через 2-3 дні його відкривають, бюкси зважують, замінюють 10%-ий розчин кислоти на 3%-ий. Бюкси знов ставлять в ексикатор. За таких умов ґрунт поглинає деяку кількість водяної пари. Операцію повторюють до встановлення постійної ваги зразка над 3%-им розчином  $H_2SO_4$ . Далі визначають вміст вологи у ґрунті ваговим методом.

Визначена даним методом величина вологості в'янення приблизно в 1,5 рази перевищує максимальну гігроскопічність, визначену зволоженням повітряно-сухого ґрунту над 10%-им розчином  $H_2SO_4$ , і відповідає вологості в'янення, визначеній методом вегетаційних проростків.

#### 4. ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ВОЛОГОЄМНОСТІ

**Максимальна молекулярна вологоємність** – це найбільша кількість вологи, яка може утримуватись у ґрунті силами молекулярного притягання між твердими частинками і водою, тобто сорбційними силами. Величина максимальної молекулярної вологоємності дуже наближена до вологості в'янення і орієнтовно вказує на загальну кількість зв'язаної вологи. Різниця між цими вологоємностями характеризує вміст неміцно зв'язаної (плівкової) вологи.

Коливання максимальної молекулярної вологоємності у тих чи інших ґрунтах тісно пов'язане з гранулометричним складом, зокрема, з вмістом мулу. Високому вмісту мулистої фракції відповідає максимальна її величина. За даними А. Ф. Лебедева, чорнозем звичайний має максимальну молекулярну вологоємність 28,4 %, сильно солонцюватий бурий ґрунт – 13,4 %, слабо опідзолений сушіщений – 4,1 %, глина – 44,85 %, суглинок – 18,2 %, пісок дрібний – 2,78 %, грубий пісок – 1,57 %.

Для визначення максимальної молекулярної вологоємності А. Ф. Лебедев запропонував методи високих колон, центрифугування і “плівкової рівноваги”. Найпростішим і легким у виконанні є **метод “плівкової рівноваги”**.

Принцип визначення максимальної молекулярної вологоємності за цим методом базується на здатності деяких матеріалів (наприклад, сухого фільтрувального паперу) при тісному контакті забирати із зволоженого зразка ґрунту всю воду, крім плівкової.

##### 4.1. Методика визначення максимальної молекулярної вологоємності

З підготовленого повітряно-сухого дрібнозему формують наважку ґрунту 10-20 г. Поміщають її у фарфорову чашку і, перемішуючи, додають 3-5 мл води до того часу, поки не утвориться однорідна густа паста.

На шматок тканини без ворсу (батист, шовк) накладають металеву пластинку-шаблон у вигляді кільця з внутрішнім отвором 5 см, товщина кільця 2 мм. У отвір шаблону поміщають приготовану пасту і розгладжують шпателем рівно з краями. Надлишкову кількість ґрунту, що виходять за краї пластинки, зрізають ножом. Шаблон знімають, а ґрунт, що залишився, накривають другим шматком тканини.

Підготовлений зразок ґрунту кладуть між декількома (10-15) листками фільтрувального паперу, далі – між дерев'яними або металічними пластинами (товщина дерев'яних пластин повинна бути не менше 1 см, металічних – 0,5 см). Аналогічним чином готують ще декілька ґрунтових зразків, вкладають їх один на одний, перешаровуючи дерев'яними або металевими пластинами, і поміщають під гідравлічний прес, де тримають 10 хв при тиску 65-70 кг/см<sup>2</sup>.

Після відпресування зразки виймають, спресований ґрунт ретельно звільняють від шматочків тканини та фільтрувального паперу, розламують на окремі частини і кладуть у заздалегідь зважений бюкс. При повному витісненні вологи понад максимальну молекулярну вологоємність пластина ґрунту має легко розламатись. Якщо ж вона згинається, тоді необхідно повторити визначення, збільшивши час пресування до 20-30 хв.

Зразок ґрунту разом із бюксом зважують і ставлять висувувати. Вологість визначають термостатно-ваговим методом, вона і буде відповідати максимальній молекулярній вологоємності

## 5. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ РОЗРИВУ КАПІЛЯРНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

**Вологість розриву капілярних зв'язків** (вологість розриву капілярів) – це така кількість капілярно-підвішеної води, за якої різко зменшується її рухомість. Якщо вологість ґрунту перевищує вологість розриву капілярів, то вода заповнює всю систему капілярних шпар і представляє собою єдине, суцільне водне тіло. Така волога може легко переміщатися до місця її витрачання (до поверхні випаровування чи транспірації).

При падінні вологості до вологості розриву капілярів рух ґрунтової води різко знижується, оскільки водне тіло втрачає суцільність. Чим вища частка великих, некапілярних (переважно міжагрегатних) шпар у ґрунті, тим за вищих значень вологості відбувається цей розрив суцільності.

У ґрунтах суглинкового і глинистого гранулометричного складу, які не мають вираженої макроструктури, величина вологості розриву капілярів приблизно відповідає середині діапазону між вологістю в'янення і загальною вологоємністю, тобто середині діапазону активної води, є границею між легкодоступною і важкодоступною для рослин водою.

У всій товщі неоструктурених горизонтів і шарів ґрунтів важкого гранулометричного складу вологість розриву капілярів знаходять розрахунковим способом. У піщаних ґрунтах вона відповідає загальній вологоємності.

Найпростішим і масовим методом визначення вологості розриву капілярів є **метод С. Долгова і В. Мацкевич**. Принцип цього методу полягає у тому, що розчинені речовини можуть рухатися з капілярним потоком води до поверхні ґрунту тільки за вологості ґрунту, вищу за вологість розриву капілярів.

### 5.1. Методика визначення вологості розриву капілярів

150-200 г повітряно-сухого дрібнозему ретельно перемішують із сухим дрібнокристалічним сірчано-кислим натрієм  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (5 г на 100 г ґрунту). Із змішаного з  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ґрунту на вазі беруть серію однакових наважок (20-50 г), які поміщають в алюмінієві бюкси.

У бюкси додають, водночас перемішуючи, різну кількість води, щоб одержати різні значення вологості (наприклад, для легкого суглинку 10, 11, 12, 13, 14, 15 % від ваги сухого ґрунту). Щоб щільність будови ґрунту була ідентична природній, шар ґрунту у бюксах доводять до визначеної висоти, ущільнюючи або розпушуючи його. Цю висоту знаходять через відношення добутку величини наважки і характерної для цього горизонту ґрунту щільності будови до площі бюкса. Для зручності перед насипанням ґрунту у бюкс на його внутрішній стінці простим олівцем наносять лінію на потрібній висоті.

Потім бюкси з вологим ґрунтом зважують, відкривають і залишають підсихати при кімнатній температурі. У тих бюксах, де вологість вища за вологість розриву капілярів, висхідний капілярний рух води призведе до утворення на поверхні ґрунту добре помітних сольових вицвітів. У бюксах з вологістю нижче вологості розриву капілярів поверхня ґрунту не зміниться. За вологість розриву капілярів вважають вологість ґрунту у першому з бюксів (рахують від більшої вологості), де сольові виділення не простежуються.

Після закінчення досліду бюкси з ґрунтом витримують при температурі 105°C до рівноважного стану для контролю вихідної вологості, яку розраховують, як різницю між початковою вагою бюкса з ґрунтом і його вагою після висушування, вираженою у відсотках до ваги сухого ґрунту.

## 6. ВИЗНАЧЕННЯ НАЙМЕНШОЇ ВОЛОГОЄМНОСТІ

**Найменша вологоємність** (загальна, гранична польова, польова вологоємність) – це найбільша кількість капілярно-підвищеної вологи, яку може утримати ґрунт після надлишкового зволоження і вільного стікання гравітаційної води. Іншими словами, найменша вологоємність – це найменша кількість вологи, яку ґрунт може накопичувати і зберігати, якщо ґрунтові води залягають глибоко. При найменшій вологоємності у ґрунті міститься максимально можлива кількість міцнозв'язаної і неміцнозв'язаної вологи, а у структурних ґрунтах – ще й максимально можлива кількість капілярно-підвищеної внутрішньоагрегатної вологи.

Найменша вологоємність залежить насамперед від гранулометричного складу ґрунту, його складення і структурності. Ґрунти глинистого гранулометричного складу мають більшу величину найменшої вологоємності (350-400 мм/га у метровому шарі), піщані і супіщані ґрунти – меншу (200-250 мм/га у метровому шарі). Ґрунти з добре розвинутою грудкувато-зернистою структурою мають середні показники найменшої вологоємності (250-300 мм/га у метровому шарі), у безструктурних ґрунтах її величина більша. У таблиці 6 наведено величини найменшої вологоємності ґрунтів залежно від їх гранулометричного складу.

Таблиця 6

**Найменша вологоємність верхнього метрового шару ґрунтів різного гранулометричного складу (за Л. Розовим)**

Гранулометричний склад	Найменша вологоємність, % від шпаруватості		Шпаруватість, % від об'єму ґрунту
	несолонцюваті ґрунти	солонцюваті ґрунти	
Пісок	25-30	-	30-35
Пісок глинистий	30-40	50-60	35-40
Супісок	40-50	60-65	40-45
Суглинок	легкий	50-60	40-45
	середній	60-70	45-50
	важкий	70-80	45-50
Глина	80-90	90-95	50-60

Найменша вологоємність є важливою характеристикою водно-фізичних властивостей ґрунту. У природі вона спостерігається після рясних дощів або у період сніготанення. При найменшій вологоємності ґрунт містить максимальну кількість вологи, доступної рослинам. Її величину можна суттєво збільшити за допомогою агротехніки шляхом розпушення і оструктурення ґрунту, що у кінцевому результаті збільшує діапазон активної вологи.

Величину найменшої вологоємності потрібно знати при будь-яких ґрунтово-гідрологічних дослідженнях, особливо для автоморфних ґрунтів, бо для них вона представляє собою максимально можливий вміст ґрунтової вологи. Дані про найменшу вологоємність використовують для аналізу результатів вивчення режиму вологості ґрунтів, розрахунку поливних норм на зрошуваних землях, промивних норм для засолених ґрунтів, перерахунку вологості у відносні величини і розрахунку діапазону активної вологи, верхньою межею якого є найменша вологоємність.

Найменшу вологоємність зазвичай визначають у польових умовах, коли ґрунт природно залягає, **методом заливних площадок**. Суть методу полягає у тому, що на ґрунт подають таку кількість води, щоб заповнити всі шпари, потім надлишку вологи дають стекти під впливом сили тяжіння. Вологість, яка встановилась після цього, відповідає найменшій вологоємності (за умови, що ґрунтові води залягають не ближче, ніж 3-4 м від поверхні).

### 6.1. Методика визначення найменшої вологоємності

Вибирають у полі типову ключову ділянку, виділяють на ній площадку розміром 2 х 2 м і оточують її металевими рамами. Зовнішня рама не допускає розтікання води із



внутрішньої. Саме у профілі внутрішньої рами визначають найменшу вологоємність.

Природну рослинність на площадці зберігають. На підготовлену площадку подають таку кількість води, щоб вона заповнила усі ґрунтові шпари. Цю кількість води розраховують завчасно, знаючи загальну шпаруватість і вихідну вологість, щільність твердої фази і щільність будови ґрунту. За цими показниками розраховують шпаруватість аерації у кожному генетичному горизонті (шарі). Після цього величину шпаруватості аерації підсумовують для усього профілю, що зволожується.

*Приклад розрахунку* необхідної кількості води для горизонту He із наступними вихідними даними: потужність горизонту ( $h$ ) – 10 см (0,1 м), площа ( $S$ ) – 4 м<sup>2</sup> (2 x 2 м), вологість ( $W$ ) – 17 %, щільність будови ( $\rho_b$ ) – 1,2 г/см<sup>3</sup>, загальна шпаруватість ( $P$ ) – 55 %.

$$1) V_{He} = h \cdot S = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ м}^3 = 400 \text{ л}$$

$$2) V \text{ всіх шпар у He} = V_{He} \cdot (P / 100) = 400 \cdot (55 / 100) = 400 \cdot 0,55 = 220 \text{ л}$$

$$3) V \text{ шпар з H}_2\text{O} = V_{He} \cdot ((W \cdot \rho_b) / 100) = 400 \cdot ((17 \cdot 1,2) / 100) = 400 \cdot 0,204 = 81,6 \text{ л}$$

$$4) V \text{ пов.} = V \text{ всіх шпар} - V \text{ шпар з H}_2\text{O} = 220 - 81,6 = 138,4 \text{ л}$$

Отже, для заповнення всіх шпар у горизонті He потрібно 138,4 л води.

Аналогічний розрахунок виконують для всіх горизонтів (шарів) до глибини визначення найменшої вологоємності (1,5-2 м). Результати підсумовують. Одержану суму множать на поправку бокового розтікання (якщо немає зовнішньої рамки).

Визначивши потрібну кількість води, розпочинають заливання підготовленої площадки не безпосередньо на ґрунт, а на лист фанери. Рівень води у межах площадки підтримують постійним (5 см). Коли весь заданий об'єм води ввійде у ґрунт, поверхню його накривають поліетиленом, а зверху кладуть соломку, листя або траву, щоб зменшити переміщення вологи у ґрунті, яке пов'язане з коливанням температур. Час, необхідний для стікання гравітаційної вологи, залежить від гранулометричного складу ґрунту: для супіщаних – 1 доба, суглинкових – 2-3 доби, глинистих – 3-7 діб.

Після визначеного терміну покриття знімають і у трикратній повторності визначають вологість у центрі заливної площадки до глибини промочування. Зразки для аналізу ґрунту беруть із розрізу або буром і доставляють у лабораторію. Термостатно-ваговим методом визначають вологість, яка дорівнює найменшій вологоємності. Одержані дані заносять у таблицю 7.

Таблиця 7

### Визначення найменшої вологоємності ґрунту

Глибина, см	Щільність будови ґрунту $\rho_b$ , г/см <sup>3</sup>	Вологість W, %	Загальна шпаруватість P, %	Вологість повного насичення V пов., л	Найменша вологоємність		
					%	мм	м <sup>3</sup> /га
0-10							
10-20							

За результатами визначення найменшої вологоємності проводять її оцінку, використовуючи таблицю 8.

Таблиця 8

### Оцінка найменшої вологоємності ґрунту (за Н. Качинським)

Важкі за гранулометричним складом ґрунти		Оцінка	Легкі за гранулометричним складом ґрунти
Вологоємність, % від ваги сухого ґрунту			
40-50		найкраща	Культурний піщаний ґрунт в орному шарі має вологоємність 20-25 %
30-40		добра	
25-30		задовільна	Для польової культури придатні піски з вологоємністю не менше 10 %
< 25		незадовільна	Для лісових культур придатні піски з вологоємністю не менше 3-5 %



## 7. ВИЗНАЧЕННЯ КАПІЛЯРНОЇ ВОЛОГОЕМНОСТІ

**Капілярна вологоємність** – це найбільша кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватись менісковими силами у горизонті (шарі) ґрунту, що знаходиться у межах капілярної кайми. **Капілярна кайма** – шар капілярно-підпертої вологи над дзеркалом ґрунтових вод.

Величина капілярної вологоємності ґрунту залежить не тільки від властивостей ґрунту (його дисперсного стану, гумусованості, структурності, будови шпарового простору), але й від положення цього горизонту (шару) над рівнем ґрунтових вод. Безпосередньо над дзеркалом ґрунтових вод капілярна вологоємність мало відрізняється від повної вологоємності, а на верхній межі капілярної кайми вона дорівнює загальній вологоємності. Тому капілярна вологоємність не визначається однозначно, а представляє собою функцію від висоти над рівнем ґрунтових вод.

Капілярну вологоємність (розподіл вологи у межах капілярної кайми) потрібно знати у процесі вивчення ґрунтів, які формуються в умовах близького залягання ґрунтових вод. У таких умовах капілярно-підперта волога відіграє провідну роль у вологозабезпеченні рослин і безпосередньо впливає на ґрунтові процеси (оглеєння, засолення, елювіювання тощо).

Капілярна вологоємність ґрунту характеризується кривою розподілу вологи у капілярній каймі, починаючи від дзеркала ґрунтових вод і закінчуючи верхньою межею кайми. Для знаходження капілярної кривої необхідно виконати польові визначення вологості ґрунту до дзеркала ґрунтових вод. При глибокому заляганні капілярної кайми, коли коріння рослин до неї не проникає, визначення можна вести протягом року, за винятком періоду стікання гравітаційної води. За умов близького залягання капілярної кайми визначення її здійснюють тоді, коли з капілярної кайми не відбувається помітної десукції вологи і до неї не стікає гравітаційна вода, тобто через місяць після сніготанення або наприкінці осені. Визначення краще проводити на ділянках чистого пару.

Після того, як визначено вологість, яка відповідає капілярній вологоємності, креслять капілярну криву на міліметровому папері і на той же графік накладають криву загальної вологоємності того самого ґрунту. Точка перетину кривих буде відповідати верхній межі капілярної кайми.

Також величину капілярної вологоємності ґрунту визначають у лабораторних умовах.

### 7.1. Методика визначення капілярної вологоємності

**Польове визначення капілярної вологоємності.** Для польового визначення капілярної вологоємності попередньо у камеральних умовах за допомогою ґрунтових карт вибирають ґрунт суглинкового гранулометричного складу (характеризується найкращими капілярними властивостями) із близьким (до 200 см) заляганням рівня ґрунтових вод.

Найточніше уявлення про капілярну вологоємність можна одержати, визначивши вологість у межах капілярної кайми. Для цього на попередньо визначеній ділянці закладають ґрунтовий розріз до дзеркала ґрунтових вод. У межах капілярної кайми від ґрунтових вод до її верхньої границі (або до поверхні ґрунту, якщо ґрунтові води лежать неглибоко, вище 1-3 м) пошарово кожні 10 см відбирають зразки ґрунту. Їх відбирають в алюмінієві бюкси, закривають кришками і негайно відправляють у лабораторію. Визначають вологість термостатно-ваговим методом. Після проведених розрахунків будують “капілярні криві”, тобто криві розподілу вологості за висотою. За характером кривих визначають висоту капілярного підняття для конкретного гранулометричного складу ґрунту. Вона відповідає тій вологості на капілярній кривій, де простежується різкий скачок вологості у бік її зменшення.

**Лабораторний метод визначення капілярної вологоємності.** Визначення проводять у зразках порушеної і непорушеної будови. Зразки ґрунту непорушеної будови відбирають спеціальним буром Некрасова або Качинського безпосередньо у

польових умовах. Для визначення застосовують металеві циліндри висотою 5 або 10 см, об'ємом 100, 200, 500 і 1000 см з сітчастим дном.

Перед виходом у поле на сітчасте дно кладуть фільтрувальний папір, змочують його дистильованою водою, надівають сітку на циліндр і зважують на вагах з точністю до 0,01 г. У полі знімають сітку, циліндр вставляють у буровий патрон і відбирають зразок ґрунту буром на потрібній глибині. Паралельно відбирають зразок для визначення польової вологості ґрунту. Після відбору зразків циліндр виймають з бурового патрону, закривають кришками і переносять до лабораторії. Обережно знімають нижню кришку, надівають сітку з фільтрувальним папером, знімають другу кришку і зважують циліндр з ґрунтом, папером та сіткою.

Встановлюють циліндр у кристалізатор і наливають воду з таким розрахунком, щоб вона доходила до краю сітки, але не змочувала ґрунт. Капіляри ґрунту крізь фільтрувальний папір починають поступово заповнюватись водою. Циліндр на цей період накривають кришкою і залишають у такому положенні, поки всі капіляри заповняться водою.

Через кожну добу циліндр зважують, поки маса його не буде постійною. Після цього циліндр виймають з кристалізатора, ставлять на фільтрувальний папір на 2-3 хв, щоб видалити воду, яка не може утримуватись ґрунтом, обтирають циліндр фільтрувальним папером і зважують.

Розраховують капілярну вологемність за формулою:

$$KB = \frac{100(P_2 - P_3)}{P_3},$$

де  $KB$  – капілярна вологемність, %;  $P_2$  – вага ґрунту в циліндрі після насичення водою, г;  $P_3$  – вага сухого ґрунту в циліндрі, г.

Вагу сухого ґрунту розраховують за формулою:

$$P_3 = \frac{100 \cdot P_1}{100 + W},$$

де  $P_3$  – вага сухого ґрунту в циліндрі, г;  $P_1$  – вага ґрунту при польовій вологості, г;  $W$  – польова вологість ґрунту, %.

**Лабораторне визначення капілярної вологемності у насипних зразках і швидкості капілярного підняття води.** Часто, щоб порівняти властивості різних ґрунтів, а також для розрахунку норми поливу ґрунтів при проведенні вегетаційних дослідів визначають капілярну вологемність у насипних колонках. Для одержання порівняльних результатів потрібно, щоб щільність будови насипного ґрунту ( $\rho_b$ ) була наближена до природної. Це досягається шляхом підбору кількості ґрунту для набивання. Наприклад, якщо  $\rho_b$  становить 1,4 г/см<sup>3</sup>, а об'єм циліндра, взятий для аналізу, дорівнює 200 см<sup>3</sup>, наважка ґрунту для визначення капілярної вологемності становить 200 x 1,4 = 280 г. Саме таку кількість ґрунту поміщають у циліндр.

На вагах зважують порожній циліндр, у якому визначатимуть капілярну вологемність. Він може бути металевим з сіткою внизу або обрізом скляної труби (довжиною 10-15 см і діаметром 3-5 см), один кінець якої затягнутий тканиною (штапелем, батистом). Знаходять об'єм циліндра (в см<sup>3</sup>), помноживши площу його перетину на висоту.

Аналогічно зважують потрібну кількість ґрунту, просіяного через сито, діаметр отворів якого 5 мм (можна використати зразки ґрунту після структурно-агрегатного складу). Більші фракції (> 5 мм) агрегатів подрібнюють. На дно циліндра кладуть злегка змочений паперовий фільтр, щоб він щільно прилягав до сітки, і заповнюють циліндр ґрунтом, рівномірно ущільнюючи його легким постукуванням циліндру по столу. Якщо наважка не вміщується повністю, то або допущена помилка у розрахунках, або ґрунт брилуватий. У такому випадку зволоження починають з тією кількістю ґрунту, яку вдалося помістити у циліндр. Циліндр ставлять на вологу підкладку або просто у широку посудину, на дно якої шаром 3-5 мм налито воду. Після зволоження

грунт стає м'яким і легко ущільнюється при надавлюванні. У вільну частину циліндра поміщають частину наважки, що залишилась. У цьому положенні циліндр залишають на 1-2 доби (слідкують за наявністю води у посудині), щоб вода заповнила всі капілярні шпари ґрунту. Показником капілярного насичення є потемніння поверхні зразка. Циліндр виймають з води, дають стекти залишкам гравітаційної води з великих шпар (злегка нахилиють циліндр), обережно висушують знизу фільтрувальним папером і зважують на вагах з точністю до 1 г.

Для розрахунку капілярної вологоємності приріст ваги циліндра з ґрунтом після зволоження ділять на величину наважки (у перерахунку на сухий ґрунт) і множать на 100. Формула розрахунку:

$$KB = \frac{100(A - B) \cdot K}{B - C},$$

де  $KB$  – капілярна вологоємність, %;  $A$  – вага циліндра з ґрунтом після зволоження, г;  $B$  – вага циліндра з повітряно-сухим ґрунтом, г;  $C$  – вага порожнього циліндра, г;  $K$  – коефіцієнт перерахунку на сухий ґрунт.

Одночасно можна визначити швидкість підняття вологи у досліджуваному ґрунті: заміряти висоту стовпа ґрунту у скляній трубці (см) і замітити час (хв), протягом якого вода піднімається по капілярах ґрунту. Розділивши шлях, який вода пройшла по капілярах ґрунту, на час, одержимо швидкість капілярного підняття води.

Ґрунт у циліндрі після розрахунку капілярної вологоємності можна використовувати для визначення загальної і повної вологоємності.

## 8. ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОЇ ВОЛОГОЄМНОСТІ

**Повна вологоємність** (водомісткість ґрунту) – це максимальна кількість води, яка може знаходитись у ґрунті природного складення при повному його насиченні водою. Досягнути такого стану можна лише при створенні умов, коли відсутній відтік води з ґрунту. Однак і при такому стані вологості ґрунту приблизно 5-10 % шпар від загального їхнього об'єму зайняті затиснутим повітрям.

Стан вологості, постійно наближений до повної вологоємності, характерний для болотних ґрунтів. Автоморфні ґрунти майже ніколи не бувають у стані їхньої повної вологоємності, цей стан характерний тільки для верхніх горизонтів під час інтенсивних зatoryжних дощів.

Величина повної вологоємності залежить від гранулометричного складу ґрунту, його гумусованості, оструктурування і складення.

Безпосередньо визначити водомісткість ґрунту у полі дуже складно. На сьогоднішній день це завдання вирішується за допомогою радіоактивних методів визначення. Повну вологоємність визначають у лабораторних умовах на монолітах або насипних зразках **методом трубок**.

### 8.1. Методика визначення повної вологоємності

Для визначення повної вологоємності використовують набір трубок діаметром 8-10 см і висотою 40-50 см. У полі готують площадку ґрунту для визначення повної вологоємності. Трубки врізають у ґрунт, не порушуючи характеру складення. Водночас заглиблюють їх погоризонтно, враховуючи потужності горизонтів. Трубки з ґрунтом непорушеного складення виймають, дно трубок закривають перфорованою кришкою і у вертикальному положенні транспортують у лабораторію. Зразок ґрунту непорушеного складення поміщають у високу склянку з водою так, щоб рівень води був на рівні ґрунту годину. Після цього трубки обережно виймають, злегка обтирають рушником і зважують на вазі. Знову кладуть трубку у воду на 20-30 хв і знову зважують. Цю процедуру виконують до того часу, поки не будуть одержані приблизно однакові величини зважування. Після насичення трубки з ґрунтом поміщають у сушильну шафу і при температурі 100-105°C висушують до постійної ваги. Розрахунок повної вологоємності проводять на сухий ґрунт у % і мм.

Таблиця 8

Визначення повної вологоємності ґрунту

Горизонт, глибина, см	Вага трубки, г	Вага трубки з ґрунтом після насичення водою, г			Вага трубки з ґрунтом після висушування, г	Вага сухого ґрунту, г	Вода, г	Повна вологоємність	
		1	2	3				%	мм

Повну вологоємність можна визначити і **розрахунковим методом**. Кількість води в об'ємних відсотках за повної вологоємності дорівнює загальній шпаруватості ґрунту  $P_{заг}$ , яку розраховують за величиною щільності твердої фази і щільності будови ґрунту. Водомісткість ґрунту у відсотках до його ваги буде визначатись за формулою:

$$W_{пв} = \frac{P_{заг}}{\rho_b},$$

де  $W_{пв}$  – повна вологоємність, %;  $P_{заг}$  – загальна шпаруватість, %,  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Цей метод найчастіше використовують для ґрунтів, що не набухають. Слід пам'ятати, що повна вологоємність, розрахована за шпаруватістю ґрунту, часто буде меншою від величини загальної шпаруватості. Це свідчить про наявність затиснутого повітря у ґрунті.

## 9. РОЗРАХУНКОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМ ВОДИ У ҐРУНТІ

При вивченні фізичних, зокрема гідрофізичних властивостей і процесів ґрунту важливим є визначення форм води у ньому, яке здійснюють як експериментально, що було розглянуто вище, так і **розрахунковим способом**.

Визначення вологемностей ґрунту має практичне і теоретичне значення, оскільки дає змогу пізнати закономірності поведінки ґрунтової вологи, що є найважливішою передумовою оптимізації водного режиму ґрунтів, підвищення врожайності сільськогосподарських культур, оцінки гідрофізичних властивостей ґрунту.

### Формули для визначення вологемностей ґрунту

#### Вологість в'янення рослин:

$$BB = 1,34 \cdot W_{\text{мг}},$$

де  $BB$  – вологість в'янення, %;  $W_{\text{мг}}$  – максимальна гігроскопічність, %.

#### Вологість розриву капілярів:

$$BPK = 0,7 HB,$$

де  $BPK$  – вологість розриву капілярів, %;  $HB$  – найменша вологемність, %.

#### Діапазон активної вологи:

$$ДАВ = HB - BB,$$

де  $ДАВ$  – діапазон активної вологи, %;  $HB$  – найменша вологемність, %;  $BB$  – вологість в'янення, %.

#### Загальний запас води:

$$W_{\text{заг.}} = KB \cdot \rho_b \cdot h \cdot 0,1,$$

де  $W_{\text{заг.}}$  – загальний запас води, мм;  $KB$  – капілярна вологемність, %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару ґрунту, см.

#### Запас недоступної вологи:

$$W_{\text{недост.}} = W_{\text{мг}} \cdot \rho_b \cdot h \cdot 0,1,$$

де  $W_{\text{недост.}}$  – запас недоступної вологи, мм;  $W_{\text{мг}}$  – максимальна гігроскопічність, %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару ґрунту, см.

#### Запас малопродуктивної вологи:

$$W_{\text{малопрод.}} = 1,34 \cdot W_{\text{мг}} \cdot \rho_b \cdot h \cdot 0,1 \text{ або}$$

$$W_{\text{малопрод.}} = 1,34 \cdot W_{\text{недост.}}$$

де  $W_{\text{малопрод.}}$  – запас малопродуктивної вологи, мм;  $W_{\text{мг}}$  – максимальна гігроскопічність, %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару ґрунту, см;  $W_{\text{недост.}}$  – запас недоступної вологи, мм.

#### Запас високопродуктивної вологи:

$$W_{\text{високопрод.}} = W_{\text{заг.}} - (W_{\text{недост.}} + W_{\text{малопрод.}}),$$

де  $W_{\text{високопрод.}}$  – запас високопродуктивної вологи, мм;  $W_{\text{заг.}}$  – загальний запас вологи, мм;  $W_{\text{недост.}}$  – запас недоступної вологи, мм;  $W_{\text{малопрод.}}$  – запас малопродуктивної вологи, мм.

#### Норма зрошення:

$$H = HB - W,$$

де  $H$  – норма зрошення, м<sup>3</sup>;  $HB$  – найменша вологемність, м<sup>3</sup>;  $W$  – запас вологи у ґрунті, м<sup>3</sup>.

#### Промивна норма води:

$$НП = HB - W + nHB,$$

де  $НП$  – промивна норма води, м<sup>3</sup>;  $HB$  – найменша вологемність, м<sup>3</sup>;  $W$  – запас вологи у ґрунті, м<sup>3</sup>;  $n$  – коефіцієнт, який залежить від ступеня засоленості ґрунту та інших факторів.

## 10. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПРОНИКНОСТІ ҐРУНТУ

**Водопроникність ґрунту** – це надходження води у ґрунт при визначеному тиску, включає *стадію вбирання (інфільтрацію)* – проникнення води у ненасичений вологою ґрунт і наступну *стадію фільтрації* – рух води у насиченому вологою ґрунті.

Кількісно водопроникність виражається потужністю шару води (в мм), яка надходить у ґрунт через його поверхню за одиницю часу. У перші хвилини вода проникає у ґрунт завдяки своїй вазі через великі шпари аерації, одночасно розтікаючись у сторони під впливом поверхневої енергії ґрунту і капілярних явищ.

На величину та характер водопроникності впливають шпаруватість ґрунту, у тому числі величина, форма та конфігурація шпар, гранулометричний та хіміко-мінералогічний склад, складення, структура, вміст гумусу, склад обмінних катіонів, вологість ґрунту і тривалість зволоження, стан угідь тощо. У ґрунтах легкого гранулометричного складу, а також злитих безструктурних ґрунтах водопроникність залежить тільки від складення гранулометричних елементів, а у структурних ґрунтах вона зумовлена розмірами агрегатів, їхньою упаковкою і водостійкістю.

Визначаючи водопроникність ґрунтів, потрібно пам'ятати про такі її особливості:

- ▶ водопроникність ґрунту досить динамічна і, як правило, зменшується з часом, бо у процесі насичення ґрунту водою відбувається руйнування грубих фракцій макроструктури, поступове ущільнення ґрунту за рахунок замулювання шпарового простору. Тому для правильного визначення водопроникності ґрунту спостереження за цією властивістю необхідно продовжувати протягом декількох годин, а деколи і днів;

- ▶ водопроникність ґрунту – сильно варіабельна властивість, що зумовлено нерівномірністю складення ґрунту, наявністю у ньому кротовин, червоточин, дендритів, тріщин. Вона може варіювати для одного і того ж ґрунту у досить широких межах. Тому визначати водопроникність потрібно декілька разів.

Водопроникність ґрунтів, визначена після їхнього одногодинного витримування під натиском води 5 см, коливається у межах від 20-30 до 1000 мм/год і більше. У агрономічному відношенні найоптимальнішою є водопроникність (у першу годину досліду) 100-500 мм/год, рівномірна у просторі і стійка у часі. У цьому випадку рух води у ґрунті рівномірний. За такої водопроникності вся ґрунтова товща після дощу у межах поля змочується однаково. Різко мінлива у просторі водопроникність, яка характеризується то застоями, то провалами води у різних точках поля, розцінюється як негативний для оцінки поля показник.

Для визначення водопроникності ґрунтів застосовують польові методи: метод заливних площадок (метод рам, визначення водопроникності пристроєм ПВН Несторова, метод поливу дослідних ділянок), метод трубок (метод трубок із змінним або постійним натиском води), лізіметричний метод (метод ізольованих колон), а також лабораторні (метод монолітів, метод трубок з насипними зразками, визначення водопроникності у пристрої Тіма). Вибираючи метод, потрібно враховувати мету досліджень (для іригаційних робіт, для характеристики ґрунтів в умовах богарного землеробства, для виявлення генетичних особливостей ґрунтів), а також характеру досліджень (експедиційний чи стаціонарний).

Зазвичай водопроникність визначають польовими методами, тобто вивчають ґрунт у природному його заляганні. Лабораторні методи є допоміжними, вони доповнюють і пояснюють деякі аспекти польового методу.

Серед польових методів визначення водопроникності ґрунтів найпоширенішим і традиційним є метод заливних площ, зокрема, **метод рам**. Рами різної величини і форми (круглої, квадратної) вривають у ґрунт, у площу січення заливають воду і враховують інтенсивність вбирання під час постійного натиску води за визначені інтервали часу. Воду подають вручну (мірною посудиною) або водорегулюючим пристроєм ПНВ Несторова.

### 10.1. Методика визначення водопроникності ґрунту

Для визначення водопроникності користуються металевими квадратними рама-

ми. У кожному варіанті визначення (основний і контрольний) необхідні дві рами: велика – зовнішня і мала – внутрішня. Перша обмежує розтікання води у ґрунті із внутрішньої облікової рами. Площа рам може бути різною. Доцільно використовувати рами з такою площею: 50 x 50 см – зовнішня і 25 x 25 см – внутрішня.

Процес визначення водопроникності ґрунту складається із двох послідовних етапів: встановлення рам і обліку водопроникності.

**Встановлення рам.** Водопроникність визначають під подвійним або потрійним контролем. Відстань між контрольними квадратами має бути не менше 50 см. Квадрати встановлюють неподалік від основного розрізу (але не ближче 10 м) на рівних і у всіх відношеннях типових для досліджуваного ґрунту ділянках. Площадку для досліджування оберігають від затоптування та засмічення.

Спочатку встановлюють зовнішній квадрат, потім – внутрішній. Квадрат ставлять на площадку ґрунту, з внутрішньої сторони ножем позначають його межі. По відзначеній межі прорізають ножем вузьку щілину глибиною 8-10 см, розширюючи її назовні. Тоді вставляють квадрат клиноподібною його стороною і спочатку вручну, а потім дерев'яним молотком щільно, без перекосів, заганяють його у щілину на всю глибину (кладуть по діагоналі дошку і б'ють по ній молотком). З внутрішньої сторони квадрату вузькою смугою (1-2 см) ґрунт притискають до його стінки ручкою молотка або ефесом ножа, із зовнішньої сторони добре втрамбовують ґрунт. Внутрішній квадрат під час встановлення центрують за зовнішнім. Також спочатку прорізають щілину, в яку щільно заганяють менший квадрат, з внутрішньої і зовнішньої стінок квадрата ґрунт ущільнюють смугою 1-2 см.

**Облік водопроникності ґрунту.** У кожному квадраті встановлюють водомірну лійку і термометр, за якими відзначають рівень води у рамі та її температуру. Наповнення водою контрольних квадратів виконують по чергово. Обліковий і захисний квадрати заливають одночасно. Спочатку воду подають відрами, попередньо виміряними, і виливають на фанерні вкладиші або трав'яні подушки доти, поки рівень води не досягне 5 см над поверхнею ґрунту в двох квадратах. З цього моменту воду обліковують і підливають у квадрати мірними циліндрами для підтримання постійного рівня (5 см). Поряд із встановленими рамами повинен бути достатній запас води (декілька відер) для поновлення її втрат після вбирання ґрунтом.

Починаючи з вихідного моменту, коли встановлено заданий рівень води, за внутрішнім квадратом обліковують витрати води через визначені інтервали часу: за першу годину – через кожні 10 хв (шість відліків), за другу і третю години – через кожні 30 хв (чотири відліки) і далі кожної наступної години. Водопроникність визначають на незрошуваних ділянках протягом 3-6 год, на зрошуваних – більше 6 год. Витрати води у межах зовнішньої рамки не обліковують. Потічок фільтрації у польових умовах вважають час встановлення рівноважної витрати води. Під час кожного обліковування витрати води записують її температуру. Визначаючи водопроникність у жаркі періоди року, враховують втрати води через її випаровування. Для цього ж на початку визначення поряд з квадратами ставлять посудину (скляну, циліндр), доверху наповнену водою. Кожної години і наприкінці роботи визначають кількість води, що випарувалась, у міліметрах водного стовпа на одиницю площі.

Перед початком визначення водопроникності ґрунту поряд із дослідною ділянкою за допомогою бура пошарово відбирають зразки ґрунту і термостатно-ваговим методом визначають його польову вологість до глибини не менше 1 м.

Водопроникність розраховують для кожного інтервалу часу спостережень і виражають у міліметрах водного стовпа. Формула розрахунку:

$$K_t = \frac{\Delta Q \cdot 10}{S \cdot \Delta T},$$

де  $K_t$  – водопроникність ґрунту для певної температури води  $t^\circ\text{C}$ , мм/год;  $\Delta Q$  – кількість води, що просочилась за час  $\Delta T$ ,  $\text{см}^3$ ;  $S$  – площа внутрішнього квадрата,  $\text{см}^2$ ;  $\Delta T$  – інтервал часу між відліками, хв;  $10$  – перерахунок  $\text{см}^3$  у мм вод. ст.



Поправку на гідравлічний коефіцієнт не враховують, бо для польових умов під час промочування ґрунту на велику глибину і тиску води на поверхню ґрунту 5 см він наближений до одиниці і величину водопроникності практично не змінює.

Водопроникність ґрунту залежить від температури води, що фільтрується. Тому одержані величини водопроникності для температури  $t^{\circ}\text{C}$  приводять до її стандартних значень при температурі  $10^{\circ}\text{C}$  ( $K_{10}$ ):

$$K_{10} = \frac{K_t}{0,7 + (0,03t)},$$

де  $K_{10}$  – коефіцієнт водопроникності, приведений до температури  $10^{\circ}\text{C}$ , мм/год;  $K_t$  – коефіцієнт водопроникності при даній температурі води, мм/год;  $t$  – температура використаної води,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $0,7+(0,03t)$  – поправочний коефіцієнт Хазена.

Записують і обробляють результати досліджень за таким зразком:

*Назва ґрунту: ...*

*Дата: ...*

*Вихідна вологість ґрунту: ...*

*Площа внутрішньої рами: 625 см<sup>2</sup>.*

*Натиск води: 5 см.*

*Середня температура води за час досліді ( $t_{\text{ср}}$ ):  $+18^{\circ}\text{C}$ .*

Зміну швидкості просочування води в часі оформляють графічно у вигляді кривих, де на осі абсцис відкладають час спостереження  $T$ , а на осі ординат – величину водопроникності  $K_{10}$ , мм/год.

Зниження і варіювання показників водопроникності наприкінці досліді дають підстави стверджувати про насичення ґрунту вологою і настання стадії фільтрації у поверхневих шарах ґрунту.

Оцінку водопроникності ґрунтів важкого гранулометричного складу представлено у таблиці 9.

Таблиця 9

**Оцінка водопроникності ґрунтів важкого гранулометричного складу при напорі води  $H$  на поверхню ґрунту 5 см і температурі води  $t$   $10^{\circ}\text{C}$  (за Н. Качинським)**

Водопроникність ґрунту, мм вод. ст. у першу годину вбирання	Оцінка
> 1000	провальна
1000-500	надто висока
500-100 вирівняна по всій площі	найкраща
100-70	добра
70-30	задовільна
< 30	незадовільна

Д. Віленський характеризує ґрунти за швидкістю (коефіцієнтом) вбирання води  $K_{10}$ , вираженого у мм/год (табл. 10).

Таблиця 10

**Оцінка водопроникності ґрунтів за швидкістю вбирання води (за Д. Віленським)**

Швидкість (коефіцієнт) вбирання $K_{10}$ , мм/год	Оцінка
> 150	добре водопроникні
150-50	середньо водопроникні
< 50	слабо водопроникні

У процесі роботи методом рам враховують характер розтікання води у ґрунті, зарисовуючи і обмірюючи контур змоченості, де це можливо. Для цього після закінчен-



ня визначення водопроникності квадрати знімають, змочену площадку захищають від випаровування вологи (накривають спочатку клейонкою, потім сіном або соломою, шаром приблизно 20 см) і витримують до встановлення капілярної рівноваги. У піщаних, супіщаних і легкосуглинкових ґрунтах капілярна рівновага настає через 24 год, у суглинкових і глинистих – через 8 год. Після цього роблять вертикальний розріз ґрунту – траншею – через центр площі внутрішніх квадратів на всіх контролях досліду на глибину 30 см нижче видимої нижньої границі змоченості. Для точного замірювання змочену поверхню ділять на квадрати, сторона яких становить 10 см, і відтворюють контур на міліметровому папері або за клітинками у робочому зошиті. Характер розтікання води наочно зображає особливості ґрунту, служить додатковою характеристикою до оцінки його водопроникності.

На цих же площадках під внутрішніми квадратами буром беруть зразки ґрунту для визначення повної і загальної вологемностей.

## 11. ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОПІДЙОМНОЇ ЗДАТНОСТІ ҐРУНТУ

**Водопідйомна здатність ґрунту** – це властивість ґрунту поступово піднімати воду по капілярах під дією капілярних (меніскових) сил. Висота капілярного підняття води безпосередньо залежить від діаметру капілярів.

Висота піднімання води у ґрунтах і швидкість її переміщення визначаються гранулометричним складом, структурністю, складенням, шпаруватістю, вмістом гумусу, складом вибраних основ. Чим ґрунт важчий і менш структурний, тим більша потенційна висота підйому води, а швидкість підйому менша. В опіщаних безструктурних ґрунтах висота капілярного підйому знижується, але швидкість руху води велика. Це правило порушується у глинистих безструктурних ґрунтах.

Визначення водопідйомної здатності ґрунтів можна проводити у польових і лабораторних умовах (метод монолітів, метод трубок). Визначення у польових умовах найбільш точні, бо ґрунт у лабораторії втрачає своє природне складення, відповідно, дані водопідйомної здатності ґрунту будуть недостовірними.

### 11.1. Методика визначення водопідйомної здатності ґрунту

**Визначення висоти і швидкості капілярного підйому води у польових умовах за відсутності близького залягання ґрунтових вод.** Закладають ґрунтовий розріз до глибини, з якої необхідно визначити водопідйомну здатність ґрунту. На лицевій стороні розрізу підкопують нішу глибиною 25-30 см і шириною 30-35 см, в яку поміщають ящик з оцинкованого заліза, заповнений піском. Якщо між монолітом ґрунту і піском утворилася щілина, тоді її забивають вологим ґрунтом, взятим з тієї ж глибини.

У пісок заливають воду або розчин відповідної солі (для засолених ґрунтів) з внесенням 20-25 мг порошкоподібного індикатора – бромкрезоловий зелений, який чітко та яскраво виділяє границі змочування. Вода з розчинним індикатором подається вручну або за допомогою посудини Маріотта.

Таким способом визначають висоту та швидкість капілярного підйому води в окремих генетичних горизонтах ґрунту. На основі одержаних даних розраховують швидкість капілярного підняття:

$$V = \frac{h}{T},$$

де  $V$  – швидкість капілярного підняття води, см/год;  $h$  – висота підняття води, см;  $T$  – час підняття води на висоту  $h$ , хв, год.

Результати спостережень і відповідні результати представляють у вигляді таблиці 11.

Таблиця 11

Розрахунок висоти і швидкості капілярного підйому води у ґрунті

Ґрунт і глибина подачі води, см	Дата	Час спостережень, хв-год	Інтервали спостережень, хв	Відлік висоти підняття води $h$ , см	Висота підняття води за певний інтервал часу $h_1$ , см	Середнє із двох відліків, $h_1$	Швидкість капілярного підняття, $V$	
							см/хв	см/год
				відмітки				

**Метод монолітів.** Залежно від завдань використовують моноліти різної висоти – 20, 100 см і більше. На лицеву сторону монолітного ящика накладають скло. Моноліти ставлять у ванну з водою, рівень якої підтримують за допомогою посудин Маріотта. У воду додають порошок-індикатор бромкрезоловий зелений. Розрахунки виконують

за зразком, представленим у таблиці 11.

**Метод трубок.** У лабораторних умовах закономірності зміни водопідйомної здатності ґрунтів можна прослідкувати, використовуючи метод визначення у скляних трубках. Беруть скляну трубку діаметром 3-4 см і висотою 1 м. Дно трубки обмотують марлею з фільтрувальним папером. На всю довжину трубки наклеюють смужку міліметрового паперу, за якою ведуть відлік висоти підйому води.

Готують наважку ґрунту у кількості, що дорівнює добутку щільності будови природного ґрунту на об'єм скляної трубки. Ґрунт просіюють через сито з діаметром отворів 5 мм. Агрегати більших розмірів (> 5 мм) подрібнюють. Всю наважку засипають у трубку, злегка постукуючи дном трубки в край столу (для рівномірного ущільнення). Наповнену ґрунтом трубку закріплюють на штативі і опускають її нижній кінець у ванну з дистильованою водою на 0,5 см. Після цього фіксують час підняття води. Простежують швидкість підняття води у ґрунті за зміною тону забарвлення ґрунту у результаті його зволоження водою, що піднімається вгору. Водопідйомну здатність ґрунту виражають через визначені інтервали часу у см або через швидкість(графічно).

## 12. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ВОЛОГИ У ҐРУНТІ

Потенціал вологи у ґрунті має кілька складових і називається **повним потенціалом вологи**  $\psi_t$ . Його величина визначається такими складовими: капілярно-сорбційним (матричним) потенціалом –  $\psi_{к-с}$ , осмотичним –  $\psi_{осм}$ , гравітаційним –  $\psi_{зр}$ , зовнішнього механічного –  $\psi_{зов}$  і газового (атмосферного) тисків –  $\psi_{атм}$ :

$$\psi_t = \psi_{к-с} + \psi_{осм} + \psi_{зр} + \psi_{зов} + \psi_{атм}$$

Якщо не має помітної механічної дії на ґрунт, атмосферний тиск суттєво не змінюється, то основне значення набувають три складові потенціалу вологи у ґрунті: капілярно-сорбційна, осмотична і гравітаційна. У природних незасолених ґрунтах на процес переміщення вологи в ґрунті мають вплив лише капілярно-сорбційна і гравітаційна складові, оскільки осмотична не має в ґрунті помітних перепадів, великих градієнтів концентрацій розчинних солей. Проте, якщо оцінювати рух води з ґрунту в рослину, слід враховувати і осмотичну складову.

Якщо можна виміряти або задати строго постійну величину відносного тиску водяної пари, то можна визначити потенціал вологи в ґрунті. На цьому базуються багато методів визначення потенціалу вологи в ґрунті. Основними є такі:

- ▶ **психрометричний метод**. Психрометр – прилад, за допомогою якого визначають відносний тиск водяної пари в атмосфері. Цей метод може бути як польовим, так і лабораторним.

- ▶ **гігроскопічний метод** або **метод сорбційної рівноваги над розчинами солей**. Використовується в основному в лабораторії.

- ▶ **тензіометричний метод** визначення капілярно-сорбційного тиску. Використовується спеціальний ґрунтово-фізичний прилад – тензіометр.

## ЧАСТИНА III

### ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ВОЛОГОСТІ І ОСНОВНИХ ВОДНО-ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТУ

Дані про вміст вологи у ґрунті самі собою характеризують зміни вмісту води у просторі і часі у межах конкретного ґрунтового горизонту (шару) чи ґрунтового профілю загалом, однак за ними не можна робити висновки про забезпеченість рослин водою. Практичного значення вони набувають, коли аналізуються разом з водно-фізичними властивостями ґрунту.

Не вся вода, яка міститься у ґрунті, доступна рослинам. Тому в агрономічному плані практичне значення має лише запас продуктивної вологи, яка може бути засвоєна рослинами. **Продуктивною вологою** називають всю кількість води у ґрунті, яка більша за вологість в'янення. Тільки при її наявності рослини можуть рости. Розраховують вміст *продуктивної вологи* у ґрунті за формулою ( $W_{\text{прод.}}$ ):

$$W_{\text{прод.}} = W_{\text{факт.}} - W_{\text{в'я}},$$

де  $W_{\text{прод.}}$  – вміст продуктивної вологи, мм;  $W_{\text{факт.}}$  – загальний запас води у ґрунті на даний момент, мм;  $W_{\text{в'я}}$  – запас води у ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

Найвищому зволоженню ґрунту в польових умовах відповідає найменша вологоємність. Тому різниця між найменшою вологоємністю і вологістю в'янення буде відповідати **максимально можливим запасам продуктивної вологи (ММЗПВ)** у ґрунті. Такий вміст води називають **діапазоном активної вологи (ДАВ)**:

$$\text{ДАВ} = \text{НВ} - \text{ВВ},$$

де ДАВ – діапазон активної вологи, %; НВ – найменша вологоємність, %; ВВ – вологість в'янення, %.

Проте у діапазоні від вологості в'янення до найменшої вологоємності не вся вода однаково легко засвоюється рослинами. Найбільш доступною вважається вода у діапазоні від вологості розриву капілярів до найменшої вологоємності (ВРК-НВ), а в діапазоні від вологості в'янення до вологості розриву капілярів (ВВ-ВРК) вона менш доступна. Це слід враховувати при розрахунках норм вегетаційних поливів.

Практичне значення має показник дефіциту вологи у ґрунті. Під **дефіцитом вологи (ДВ)** у ненасичених водою ґрунтах розуміють різницю між найменшою вологоємністю і фактичною вологістю у даний момент ( $W_{\text{де.}}$ ):

$$W_{\text{де.}} = W_{\text{нв}} - W_{\text{факт.}}$$

де  $W_{\text{де.}}$  – дефіцит вологи, мм;  $W_{\text{нв}}$  – найменша вологоємність, мм;  $W_{\text{факт.}}$  – фактична вологість ґрунту у даний момент, мм.

Сумарний дефіцит вологи для шарів 0-20 або 0-50 см – основа для розрахунків разової кількості води, яку подають для зрошення. Поливна норма не повинна перевищувати дефіцит вологи, щоб не спричинити втрат води з гравітаційним стоком, особливо при близькому заляганні соленосних горизонтів і мінералізованих ґрунтових вод.

На практиці **дефіцит вологи окремих шарів** розраховують за формулою ( $W_{\text{де.}}$ ):

$$W_{\text{де.}} = W_{\text{нв}} - W \cdot \rho_b \cdot h,$$

де  $W_{\text{де.}}$  – дефіцит вологи, т/га;  $W_{\text{нв}}$  – найменша вологоємність, %;  $W$  – польова вологість, %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару ґрунту, см.

Розрахунок **норми поливу** здійснюють за формулою ( $H_n$ ):

$$H_n = W_{\text{де.}} \cdot \rho_b \cdot h,$$

де  $H_n$  – норма поливу, т/га;  $W_{\text{де.}}$  – дефіцит вологи, т/га;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару ґрунту, см.

Важливою агрономічною характеристикою є **запаси продуктивної вологи** в орному шарі на період посіву культур, а надалі – у метровому шарі, де розміщується до 90-95 % коренів сільськогосподарських культур.

Спочатку розраховують **запаси продуктивної вологи за шарами 0-10 см і до глибини 1 м** за формулою ( $W_{\text{прод.}}$ ):

$$W_{\text{прод.}} = \frac{(W - W_{\text{в'я}}) \cdot \rho_b \cdot h}{10},$$

де  $W_{\text{прод.}}$  – запас продуктивної вологи, мм;  $W$  – польова вологість на даний момент часу, %;  $W_{\text{ев}}$  – вологість в'янення, %;  $\rho_b$  – щільність будови ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $h$  – потужність шару ґрунту, см.

Далі встановлюють *запаси продуктивної вологи в орному (0-20 см) і метровому (0-100 см) шарі ґрунту* за формулою ( $\Sigma W_{\text{прод.}}$ ):

$$\Sigma W_{\text{прод.}} = W_{0-10} + W_{10-20}$$

де  $\Sigma W_{\text{прод.}}$  – сумарні запаси продуктивної вологи у шарі 0-20 см, мм;  $W_{0-10}$  – запаси продуктивної вологи у шарі 0-10 см, мм;  $W_{10-20}$  – запаси продуктивної вологи у шарі 10-20 см, мм.

$$\Sigma W_{\text{прод.}} = W_{0-10} + W_{10-20} + \dots + W_{90-100}$$

де  $\Sigma W_{\text{прод.}}$  – сумарні запаси продуктивної вологи у шарі 0-100 см, мм;  $W_{0-10}$  – запаси продуктивної вологи у шарі 0-10 см, мм;  $W_{10-20}$  – запаси продуктивної вологи у шарі 10-20 см, мм; і т. д.

Оцінку запасів продуктивної вологи у ґрунті здійснюють за шкалою, представленою у таблиці 12.

Таблиця 12

### Шкала оцінки запасів продуктивної вологи у ґрунті

Вміст води, мм	Оцінка запасів продуктивної вологи
У шарі 0-20 см	
> 40	добра
40-20	задовільна
< 20	незадовільна
У шарі 0-100 см	
> 160	дуже добра
160-130	добра
130-90	задовільна
90-60	низька
< 60	дуже низька

Кількість продуктивної вологи визначає тип клімату ґрунту у період вегетації рослин, який є провідним фактором їх продуктивності (табл. 13).

Таблиця 13

### Схема типізації клімату ґрунту (за А. М. Шульгіним)

Запаси продуктивної вологи, мм		Клімат ґрунту
у шарі 0-20 см	у шарі 0-100 см	
> 50	> 200	надлишково вологий
30-50	150-200	вологий
20-30	100-150	помірно вологий
10-20	50-100	недостатньо вологий
< 10	< 50	сухий

У агрономічній практиці треба не лише констатувати наявність вологи у ґрунті, а вміти прогнозувати її запаси на відповідний період. Л. А. Разумова (1971) розробила *методику прогнозу запасів продуктивної вологи* у метровому шарі ґрунту *на початок весняно-польових робіт*. Вона ґрунтується на залежності весняних запасів вологи ( $W_{\text{вес}}$ ) у ґрунті від запасів вологи восени ( $W_{\text{ос.}}$ ) та кількості опадів ( $r$ ) за осінньо-зимовий період.

Зміни запасів продуктивної вологи протягом зимового періоду описуються такими рівняннями ( $\Delta W$ ):

для районів зі стійкою зимою

$$\Delta W = 0,115 \cdot r + 0,56 \cdot d - 20;$$

для районів з нестійкою зимою

$$\Delta W = 0,21 \cdot r + 0,62 \cdot d - 33,$$

де  $\Delta W$  – зміни запасів продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту за період від дати останнього визначення вологості ґрунту восени до дати переходу температури повітря через  $5^{\circ}\text{C}$  навесні, мм;  $r$  – кількість опадів за даний період, мм;  $d$  – дефіцит вологості ґрунту восени, мм.

Очікувані запаси продуктивної вологи у ґрунті навесні будуть дорівнювати ( $W_{\text{вес.}}$ ):

$$W_{\text{вес.}} = W_{\text{ос.}} + \Delta W,$$

де  $W_{\text{вес.}}$  – очікувані запаси продуктивної вологи у ґрунті весною, мм;  $W_{\text{ос.}}$  – запаси вологи у ґрунті осінню, мм;  $\Delta W$  – зміни запасів продуктивної вологи ґрунту протягом зимового періоду, мм.

### Графічне представлення даних вологості ґрунту

При інтерпретації даних щодо вологості ґрунту важливе значення має характер представлення їх. Результати великого числа визначень вологості, якими супроводжуються більшість польових дослідів, часто представляють у формі громіздких таблиць, які важко читаються. Тому поряд з табличною формою подання матеріалів (коли кількість визначень незначна), застосовують відповідні **способи графічного зображення даних**: профільні криві, хроноізоплети і топоізоплети вологості, графіки динаміки вологозапасів та ін.

**Профільні криві вологості (єтюри вологості)** – найзручніша форма для співставлення вологості різних горизонтів (шарів) ґрунту у певний визначений момент часу. Для побудови профільних кривих відкладають на вертикальній осі глибини з поверхні, а на горизонтальній осі – вологість у відсотках до ваги або об'єму ґрунту. На цей же графік наносять і профільний хід різних видів вологоємності (вологості в'янення, вологості розриву капілярів, найменшій вологоємності тощо), що дає змогу з'ясувати якість вологи.

Профільні криві вологості дають змогу уявити, які зміни відбулися у різних горизонтах (шарах) ґрунту, оцінювати за нахилом кривої градієнт вологості, тобто різкість перепаду вологості з глибиною.

**Хроноізоплети вологості** – лінії рівних значень вологості у полі координат “глибина ґрунту – час” з представленням динаміки метеорологічних умов за час, що розглядається. Вони дають можливість відстежувати зміну вологості у ґрунтовій товщі будь-якої потужності за тривалий проміжок часу в поєднанні зі змінами метеорологічних факторів (опадів, температури повітря, промерзання ґрунту, потужності снігового покриву), а також глибини ґрунтових вод.

Для побудови хроноізоплет креслять сітку координат, де на вертикальній осі відкладають глибини, а на горизонтальній – дати (зручний масштаб, при якому 1 декада дорівнює 1 або 0,5 см), починаючи з сезону зволоження, тобто з жовтня. Зображення ходу метеорологічних факторів наносять вище основного графіку на осі часу у тому ж масштабі. Після цього переходять до зображення вологості. Вологість на хроноізоплетах виражають у вагових або об'ємних відсотках, але краще у категоріях вологи (< ВВ, ВВ-ВРК, ВРК-НВ, НВ-НВ, ПВ).

**Топоізоплети вологості** – лінії рівних значень вологості у координатах “глибина ґрунту – розгляд по горизонталі” у визначений момент часу. Використовують у випадках, коли потрібно показати зміну вологості ґрунту у просторі у конкретний момент часу залежно від певного фактору (рельєфу, складу лісових насаджень тощо). Водночас закладають сітку свердловин, яка перетинає досліджувані ділянки. Будуючи топоізоплети, на горизонтальній осі графіка відкладають відстань між свердловинами. Надалі топоізоплети будують так само, як і хроноізоплети.

**Графіки динаміки вологозапасів** дають можливість кількісно оцінити сумарний вміст вологи у товщі ґрунту тієї чи іншої потужності за визначений період часу. Такі графіки будують пошарово: для 0-20, 20-50, 50-100 см і далі за півметровими шарами. На горизонтальній осі відкладають дати, на вертикальній – запас вологи (мм) у відповідному шарі, а також запаси вологи, які відповідають вологості в'янення, вологості

розриву капілярів, найменшій вологості тощо. Водночас над графіком вологості наносять дані (графічно) про метеорологічні елементи (вертикальна складова графіка відображає кількість опадів, горизонтальна – їхній часовий розподіл).

Характеризуючи водний режим ґрунтів, використовують усі вище перелічені типи графіків одночасно.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – М. : МГУ, 1984. – 205 с.
3. Гаськевич В. Лабораторно-аналітичні роботи з ґрунтознавства / В. Гаськевич, Г. Підвальна. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. – 96 с.
4. Качинский Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1970. – Ч. 2. – 360 с.
5. Наконечный Ю. І. Практикум з ґрунтознавства і географії ґрунтів : навчальний посібник / Ю. І. Наконечний. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 374 с.
6. Папіш І. Практикум з фізики ґрунту. Ч. 2. Гідрофізика ґрунтів / І. Папіш. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2001. – 37 с.
7. Практикум з ґрунтознавства : навчальний посібник / за ред. Д. Г. Тихоненка. – Х. : Майдан, 2009. – 448 с.
8. Теории и методы физики почв / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М. : Гриф и К, 2007. – 616 с.
9. Шеин Е. В. Курс физики почв / Е. В. Шеин. – М. : МГУ, 2005. – 430 с.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	<b>3</b>
<b>ЧАСТИНА I. Основні теоретичні положення</b> .....	<b>5</b>
1. Вологість ґрунту .....	5
2. Водно-фізичні властивості ґрунту.....	7
<b>ЧАСТИНА II. Визначення вологості і основних водно-фізичних характеристик ґрунту</b> .....	<b>15</b>
1. Визначення гігроскопічної вологи ґрунту.....	15
2. Визначення максимальної гігроскопічності ґрунту .....	17
3. Визначення вологості в'янення .....	19
4. Визначення максимальної молекулярної вологоємності .....	21
5. Визначення вологості розриву капілярних зв'язків .....	22
6. Визначення найменшої вологоємності .....	23
7. Визначення капілярної вологоємності .....	25
8. Визначення повної вологоємності .....	28
9. Розрахунковий спосіб визначення форм води у ґрунті .....	29
10. Визначення водопроникності ґрунту .....	30
11. Визначення водопідйомної здатності ґрунту .....	34
12. Визначення потенціалу вологи у ґрунті.....	36
<b>ЧАСТИНА III. Практичне застосування даних вологості і основних водно-фізичних характеристик ґрунту</b> .....	<b>37</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	<b>41</b>

Навчальне видання

Методичні рекомендації для виконання  
практичних робіт з дисципліни “**Фізика ґрунту**”  
**Ч. II. ГІДРОФІЗИКА**

**Укладач: Підкова Оксана Миколаївна**

Підписано до друку 29. 11. 2019 р.  
Авт. друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,0.  
Формат 60х90/8  
Наклад 300 прим. Зам. 14–021

