



МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ
ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ОХОРОНИ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ»
ТЕРНОПІЛЬСЬКА ФІЛІЯ ДУ «ДЕРЖҐРУНТОХОРОНА»
ХМЕЛЬНИЦЬКА ФІЛІЯ ДУ «ДЕРЖҐРУНТОХОРОНА»

Рекомендації по визначенню та збереженню вологості ґрунту



Тернопіль

УКЛАДАЧІ:

Тернопільська філія ДУ «Держгрунтохорона»

- Брощак І. С.** — директор
- Ориник Б. І.** — заступник директора–головний інженер
грунтознавець
- Огороднік Г. М.** — зав. лабораторії аналітичного забезпечення
агрохімічних досліджень
- Бровко О. З.** — зав. лабораторії геоінформаційних систем,
обробки інформації та експериментальних
досліджень

Хмельницька філія ДУ «Держгрунтохорона»

- Собко В. І.** — директор Чернівецької філії / В.о.директора
Хмельницької філії
- Кожевнікова В. Л.** — начальник відділу моніторингу та
аналітичного забезпечення еколого-
агрохімічних досліджень.

Зміст

ВОЛОГА В ҐРУНТІ	5
<i>КАТЕГОРІЇ ТА ФОРМИ ВОДИ В ҐРУНТІ</i>	5
<i>ВОДНО-ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ</i>	21
Водоутримуюча здатність ґрунту.....	21
Водопроникність ґрунту.....	28
Водопідйомна здатність ґрунту.....	29
<i>ДОСТУПНІСТЬ ВОЛОГИ ДЛЯ РОСЛИН</i>	31
<i>ВОДНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТІВ</i>	33
Водний режим ґрунтів та його типи.....	33
Заходи щодо регулювання водного режиму ґрунту.....	36
Екологічне значення водного режиму ґрунтів.....	37
ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ	38
<i>ВОЛОГІСТЬ ҐРУНТУ</i>	38
Методи визначення вологості ґрунту.....	39
Відбір зразків ґрунту.....	41
Визначення польової вологи ґрунту.....	43
Визначення гігроскопічної вологи ґрунту.....	45
Визначення максимальної гігроскопічної вологи.....	47
Визначення найменшої вологості.....	49
РОЗРАХУНКОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМ ВОДИ У ҐРУНТІ.....	50
<i>ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ВОЛОГОСТІ</i>	50
Розрахунок запасу продуктивної вологи.....	53
Розрахунок запасу вологи в ґрунті.....	54
Розрахунок запасу недоступної вологи (вологість в'янення).....	56
ПРОДУКТИВНА ВОЛОГА В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	58
ЗАХОДИ ПО ЗБЕРЕЖЕННЮ ТА ЗБІЛЬШЕННЮ ВОЛОГИ В ҐРУНТІ.....	60
<i>ШВИДКІСТЬ ВТРАТИ ВОЛОГИ</i>	60
<i>ЯК ЗБЕРЕГТИ ВОЛОГУ?</i>	61
<i>ЯК ЗНИЗИТИ РИЗИКИ ВІД МОЖЛИВИХ НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВ?</i>	74
<i>ВОЛОГА ПОРУЧ, НАВКОЛО НАС</i>	77
ДОДАТКИ	80
ЛІТЕРАТУРА	102

“Вода у ґрунті — все одно, що кров в організмі”

Г. М. Висоцький

Вода надходить у ґрунт з атмосферними опадами, ґрунтовими водами, шляхом конденсації водяної пари з атмосфери, з поливними водами (рис. 1). Вода ґрунту є життєвою основою рослин, ґрунтової фауни і мікрофлори.

Рослини потребують великої кількості води. Так, для утворення 1 кг органічної речовини витрачається від 200 до 1000 г води. З водою в рослини надходять поживні речовини.

Від вмісту води в ґрунті залежать інтенсивність біологічних, хімічних і фізико-хімічних процесів, водно-повітряний і тепловий режими, режим живлення, фізико-механічні властивості.

Воді належить важлива роль у ґрунтоутворенні, зокрема в процесах вивітрювання і новоутворення мінералів, гумусоутворенні, формуванні генетичних горизонтів ґрунтового профілю, динаміці ґрунтоутворних процесів.

Вода ґрунту є терморегулюючим чинником, обумовлюючи температурний режим ґрунту.

Оптимальна вологість ґрунту для сільськогосподарських культур — запорука високого врожаю, оскільки рослини не можуть розвиватися, якщо земля зволожена недостатньо.

Пізнання закономірностей поведінки ґрунтової вологи, управління водними властивостями, водним режимом є передумовою регулювання та оптимізації родючості ґрунтів.

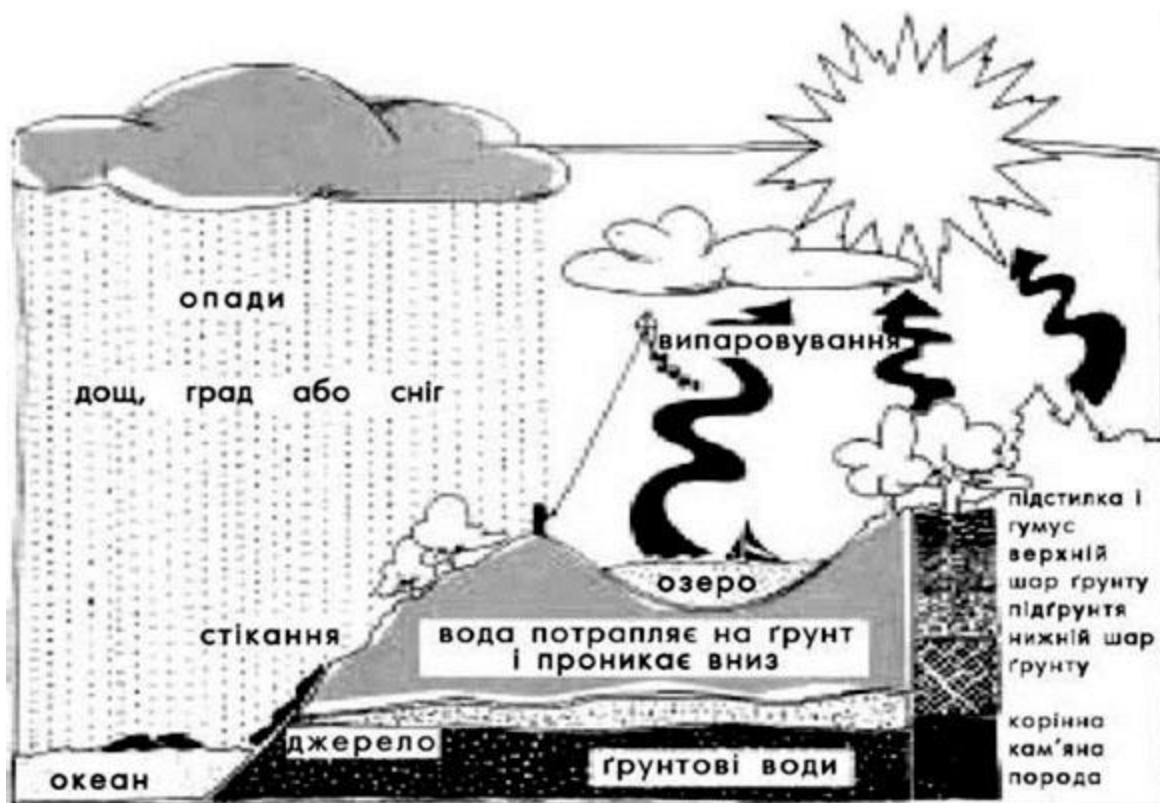


Рис. 1 - Рух води в ґрунті.

ВОЛОГА В ҐРУНТІ

КАТЕГОРІЇ ТА ФОРМИ ВОДИ В ҐРУНТІ

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 вологи.

Якщо розмістити всі значення вологи, 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**: нерухома, слаборухома, рухома, вільна (рис. 2)

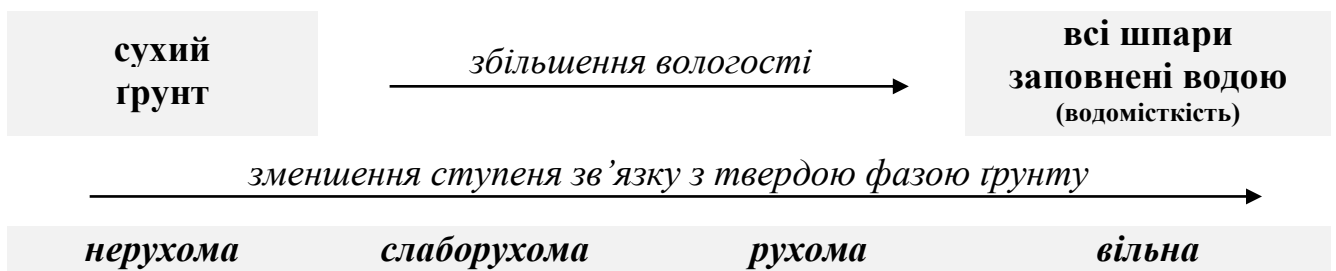


Рис. 2. Схема розподілу води у ґрунті за ступенем її зв'язку з твердою фазою ґрунту

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 **вологоємністю**, підкреслюючи тим самим, що ґрунтова ємність у вигляді частини шпарового простору заповнена водою з близькими властивостями.

Саме такі граничні вологості або вологоємності називаються **енергетичними константами**, вважаючи, що при кожній величині вологоємності 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.

ґрунтово-гідрологічні константи — межі значень вологості, які характеризують виникнення різних форм і категорій ґрунтової вологи.

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*.



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

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

Розрізняють такі категорії ґрунтової води:

I. Хімічно зв'язана вода не бере безпосередньої участі у фізичних процесах, що відбуваються у ґрунті, але є важливим показником складу ґрунту; її визначають у формі гідратної води при ґрунтових аналізах. Розрізняють конституційну і кристалізаційну воду.

Конституційна вода представлена гідроксильною групою OH^- хімічних сполук (гідроксиди феруму, алюмінію, мангану; органічні та органо-мінеральні сполуки; глинисті мінерали). Виділяється конституційна вода шляхом нагрівання до певних дуже високих температур, що супроводжується руйнуванням мінералів.

Кристалізаційна вода стійко зв'язана в кристалічних ґратках мінералів (алюмосилікатів, гідроксидів, простих солей) і входить у тверду фазу ґрунтів цілими водними молекулами. Багато мінералів містять кристалізаційну воду: гіпс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — близько 21 ваг. %, мірабіліт ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) — приблизно 69 ваг. %, хлорид магнію ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) — 50 ваг. %. Важлива роль належить кристалізаційній воді в **засолених ґрунтах**. Засолені ґрунти утримують значні кількості її. Ця вода нерухома, не розчиняє елементів живлення рослин і солей, зовсім недоступна рослинам. Виділяється шляхом нагрівання при відносно низьких температурах. Для деяких хімічних сполук, зокрема мірабіліту, ця температура становить $20\text{--}25^\circ\text{C}$, а з гіпсу кристалізаційна вода починає виділятися при температурі $60\text{--}65^\circ\text{C}$.

II. Фізично зв'язана, або сорбована, вода утворюється шляхом сорбції (концентрації) пароподібної та рідкої води на поверхні твердих частинок ґрунту.

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 ($74\text{--}80$) і нейтральну реакцію, її молекули легко і міцно зв'язуються, сорбуються поверхнею ґрунтових шарів та дисперсних 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 (рис. 3).

Фізично зв'язана вода за міцністю зв'язку з твердими частинками ґрунту поділяється на міцнозв'язану і неміцнозв'язану, або плівкову, воду.

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-х орієнтованих шарів молекул води. Властивість ґрунту сорбувати пароподібну воду називають гігроскопічністю ґрунтів, а воду, поглинену таким способом, — **гігроскопічною** (рис. 4).

Гігроскопічна вода утримується дуже міцно навколо поверхні ґрунтових частинок (з силою $10\text{--}20$ тис атм), пересувається лише при переході у пароподібну форму, зовсім недоступну для живлення рослин.

За фізичними властивостями гігроскопічна вода наближається до твердих тіл: має підвищену щільність ($1,5\text{--}1,8$ г/см³), замерзає при низькій температурі (від -10°C до -78°C), має низьку електропровідність, не розчиняє речовини, які розчиняють у вільній воді.

Визначають гігроскопічну вологу в ґрунті, висушуючи його при температурі 105⁰С.

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.

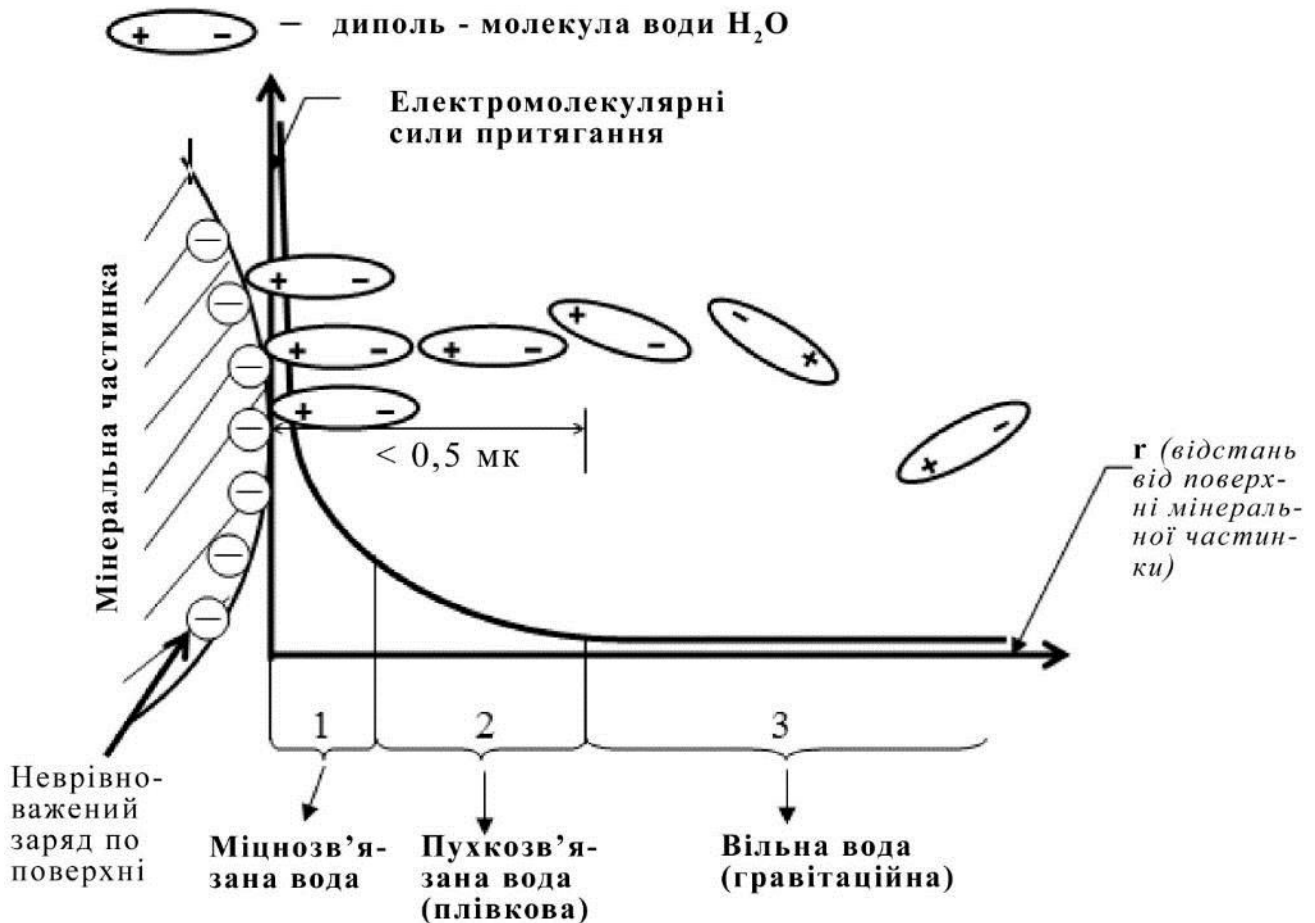


Рис. 3. Форми води у ґрунті.

Найбільшу кількість води, яку може увібрати ґрунт з повітря, насиченого парами води близько 100 %, називають **максимальною гігроскопічністю (МГ)** (рис. 5–7). Кількість цієї води для даного ґрунту є величиною сталою. Це одна з найважливіших ґрунтово-гідрологічних констант.

На гігроскопічність ґрунтів впливають гранулометричний і мінералогічний склад, гумусованість. Визначають її шляхом насичення ґрунту парами води над 10 % розчином H₂SO₄.

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 %.

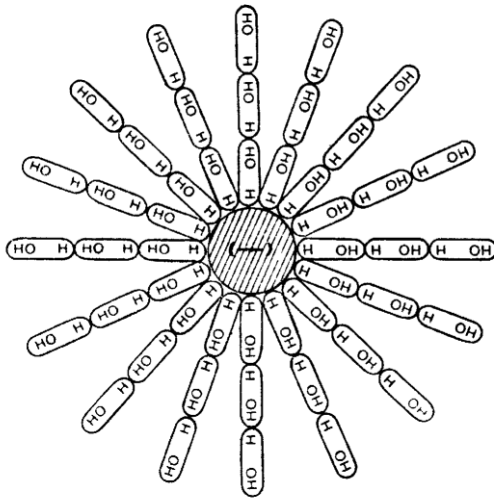


Рис. 4. Схема утворення гігроскопічної вологи
(за І. П. Герасимовим та М. А. Глазовською).

Неміцнозв'язана вода (плівкова) сорбується тільки при зіткненні ґрунтових частинок з рідкою вологою (рис. 5). Ця вода утримується силами молекулярного тяжіння (сорбційними силами тиском 1–10 атм) понад величину максимальної гігроскопічності та утворює багат шарову 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 товстими плівками 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.

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.

Максимальна молекулярна вологоємність (ММВ) — це верхня межа вмісту в ґрунті плівкової води, яка утримується силами молекулярного притягання на поверхні ґрунтових частинок. Величина максимальної молекулярної вологоємності залежить від діаметра частинок, які складають ґрунт. Вона незначна в пісках (5–7 %) і дуже висока в глинах (25–30 %).

Максимальна молекулярна вологоємність є важливою характеристикою, оскільки за вологістю, яка відповідає максимальній молекулярній вологоємності, можна з'ясувати, чи існує запас доступної і корисної рослинам води, чи цей запас близький до вичерпання.

До величини максимальної молекулярної вологоємності близький коефіцієнт в'янення, тобто та кількість вологи, за якої рослина в'яне і гине. Зазвичай коефіцієнт в'янення на 2–3% нижчий від величини максимальної молекулярної вологоємності.

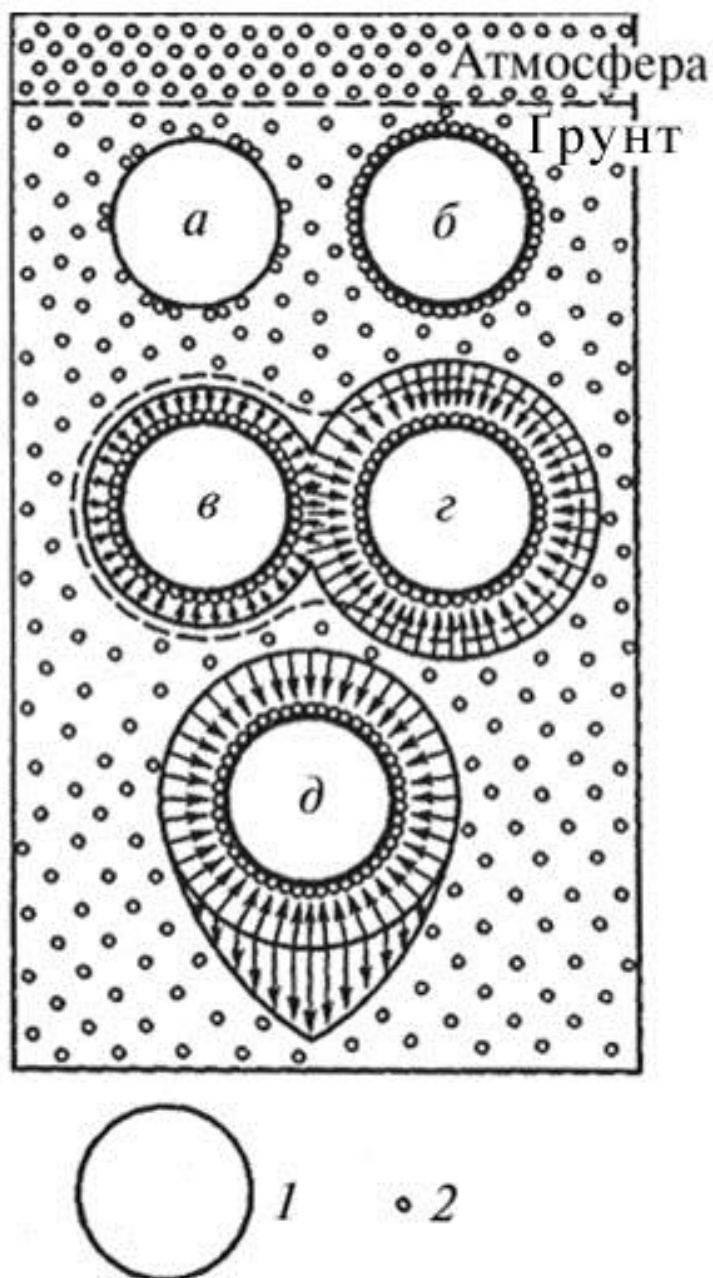


Рис. 5. Форми води в ґрунті (за О. Ф. Лебедевим):
 а – гігроскопічна; б – максимально гігроскопічна; в і г – плівкова;
 д – гравітаційна; 1 – частинки ґрунту; 2 – молекули води у виді пари.

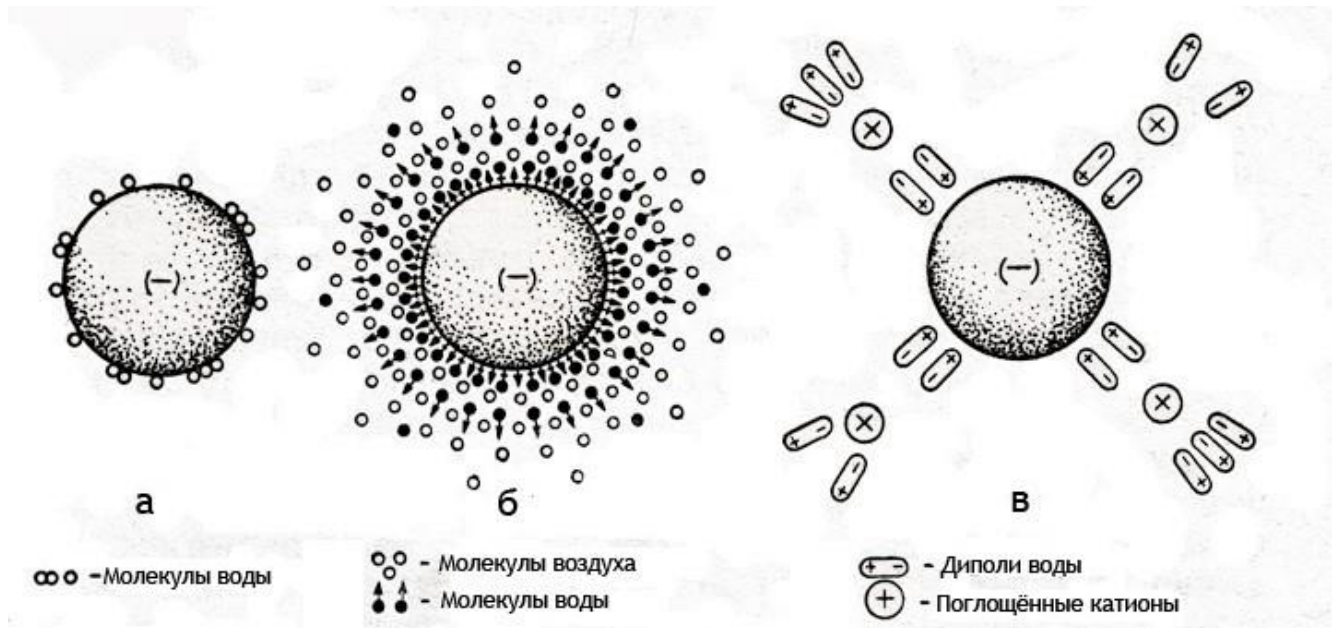


Рис. 6. Схема будови гігроскопічної вологи за даними різних авторів
 а — по Лебедєву б — по Цункеру, в — по Кюну.

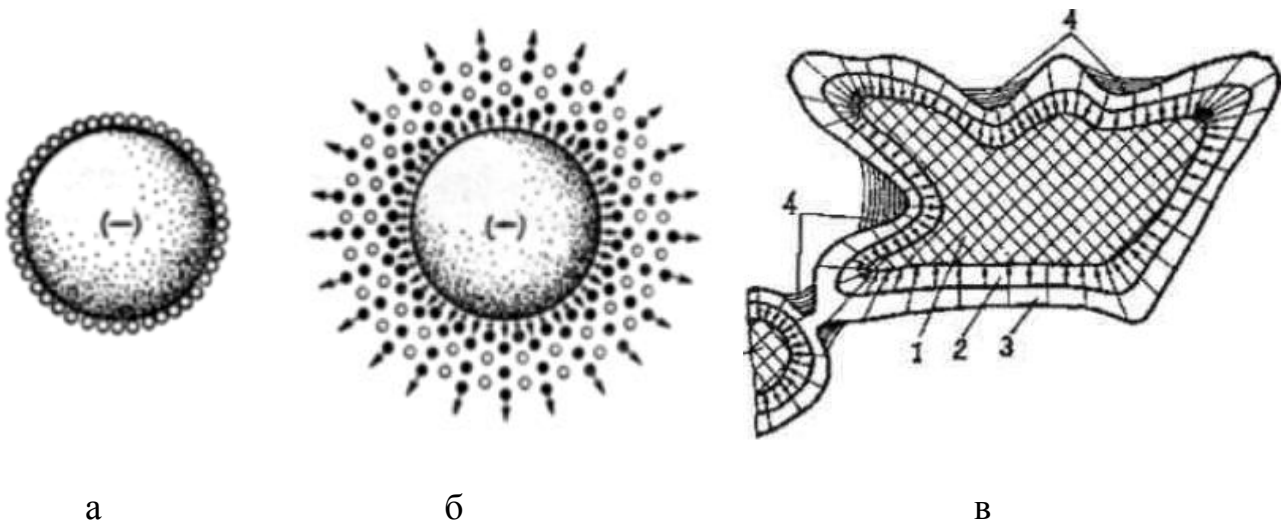


Рис. 7. Схема будови максимальної гігроскопічної вологи за даними різних авторів:

а — по Лебедєву б — по Цункеру, в — по Качинському (1 – ґрунтова частинка; 2 – прошарок міцноз'язаної, строго орієнтованої води; 3 – прошарок пухкозв'язаної (плівкової), слабо орієнтованої води; 4 – вода капілярної конденсації).

III. Вільна вода — це вода, яка не зв'язана силами притягання з ґрунтовими частинками (сорбційними) і рухається під дією капілярних та гравітаційних сил (міститься в ґрунтах понад неміцнозв'язану).

Характерною ознакою цієї води є відсутність орієнтації молекул води біля ґрунтових частинок.

Розрізняють дві форми вільної води у ґрунті — *капілярну і гравітаційну*.

1. Капілярна вода (рис. 8–14) рухається в тонких шпарах ґрунту капілярними (менісковими) силами, спричиненими поверхневим натягом і змочуванням.

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.

Явище змочування відбувається в результаті взаємодії молекул на контактній рідині і твердого тіла.

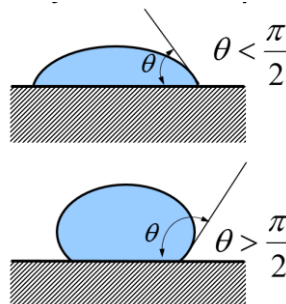


Рис. 8. Явище змочування.

В першому випадку крапля розтікається по поверхні твердого тіла і поверхня його називається — гідрофільною (яка любить воду). В другому випадку — гідрофобна (яка боїться води). В першому випадку сила взаємодії крайньої молекули рідини з твердим тілом більше, ніж з рідиною, в другому — навпаки.

Вода має здатність добре змочувати тверді тіла. При зіткненні води з ґрунтовими частинками у шпарах (капілярах) утворюються меніски тим більшої кривизни, чим менший діаметр шпар.

Якщо занурити у воду трубку із гідрофільного матеріалу, то внаслідок змочування утворюється скривлена поверхня води (меніск) і рівень її води піднімається над її рівнем поза капіляром на h_k .

Теоретично $h_k = c/r$, де r — радіус капіляра; c — постійна, яка залежить від властивостей рідини і твердого тіла. Таким чином, чим тонший капіляр, тим більше h_k .

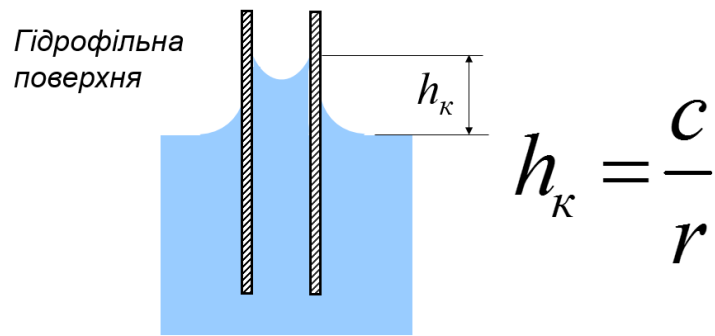


Рис. 9. Явище капілярного підняття.

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 в ґрунтах проявляються в шпарах з діаметром меншим від 8 мм, але особливо велика їхня сила у шпарах з діаметром від 100 до 3 мкм.

Шпари більше 8 мм заповнюються гравітаційною водою або повітрям, а менше 3 мкм — зв'язаною водою.

Ґрунт є складною системою шпар різних розмірів і форми, в яких утворюються меніски різної кривизни. Внаслідок цього у шпарах ґрунту існує різниця тисків не тільки під меніском і плоскою поверхнею плівки натягу, але й між поверхнею менісків різної кривизни.

Різниця поверхневих тисків формує здатність ґрунту утримувати певну кількість води і підняття води в капілярних шпарах.

За фізичним станом капілярна вода доволі рухлива, здатна накопичуватися у великих кількостях у поверхневих горизонтах, розчиняє речовини, переносить розчинені солі, колоїди, тонкі суспензії, доступна для живлення рослин.

Залежно від характеру зволоження розрізняють *капілярно-підвішену і капілярно-підперту воду*.

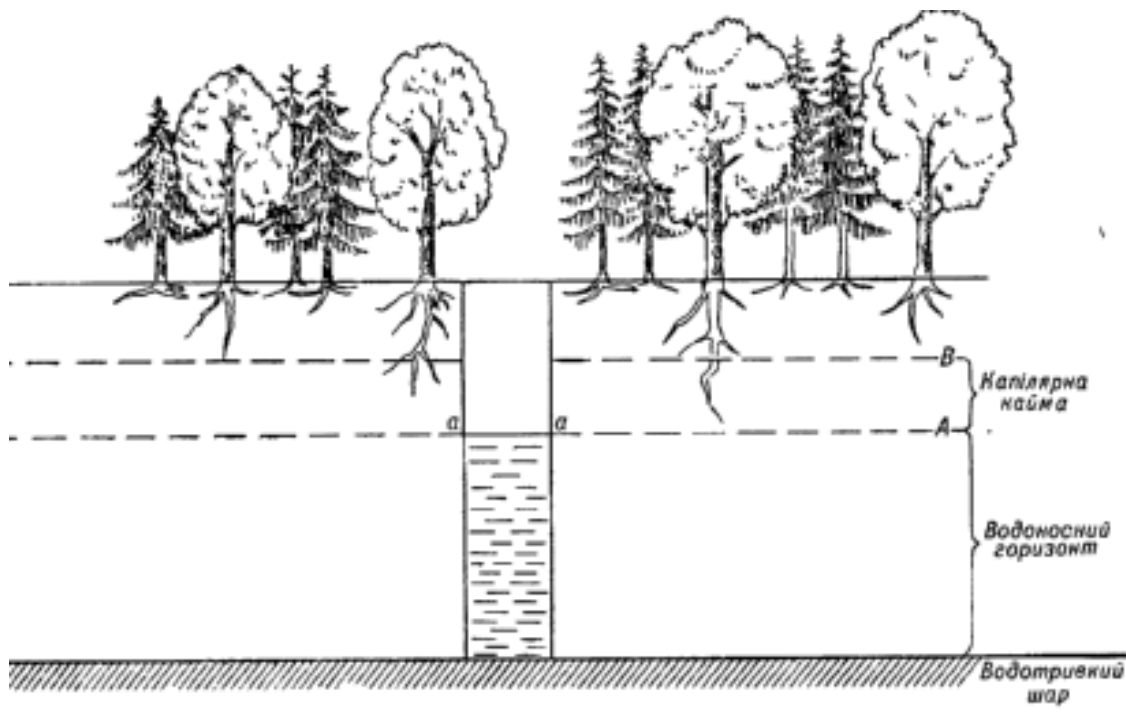


Рис. 10. Рівень ґрунтових вод і капілярна кайма (за О. А. Роде, 1955).

Капілярно-підвішена вода заповнює шпори при зволоженні ґрунту зверху (після дощу, поливу). Вона може рухатись у всіх напрямках. Характеризується відсутністю гідростатичного зв'язку з постійними чи тимчасовими водоносними горизонтами.

Вона утворюється при зволоженні ґрунту зверху після дощу чи поливу. Під змоченим шаром ґрунту завжди спостерігається сухий шар. Вода в змоченому шарі не стікає, а перебуває у висячому стані над сухим шаром. Ця вода утримується в ґрунті досить стійко, але до певної межі, обумовленої різницею тисків, що створюються в менісках верхньої і нижньої поверхні водного шару. Коли верхня межа різниці тисків перевищена, починається стікання води. Ця вода може переміщатися і вгору у напрямі поверхні випаровування.

Капілярно-підвішена вода здатна переміщувати розчинені солі. Такі явища нерідко спостерігаються при поливах ґрунтів, які характеризуються залишковим підґрунтовым засоленням. Такий процес спостерігається при поливах ґрунтів мінералізованою водою, коли часткове випаровування капілярно-підвішеної води супроводжується накопиченням солей у розчинах, що випаровуються.

Швидкість руху капілярно-підвішеної води і швидкість її випаровування будуть незначними, коли ґрунти добре оструктурені і затінені. Тому розпушування ґрунтів і травосіяння є основними заходами зі зменшення висхідних потоків вологи і солей у ґрунті.

Капілярно-підвішена вода зберігається тривалий час і доступна для живлення рослин, тому з екологічних позицій вона є дуже цінною.



Рис. 11. — Грунтова та підгрунтова вода.

Стикова вода є різновидом капілярно-підвішеної води у піщаних ґрунтах. Вона є в ґрунтах легкого гранулометричного складу в місцях стику окремих твердих частинок, де розміри шпар між частинками перевищують розміри капілярів. Величина її становить 3,0–3,5 % від ваги ґрунту, або 10–15 % від повної вологості ґрунту.

Капілярно-підперта вода утворюється в ґрунтах при піднятті води знизу від горизонту ґрунтових вод по капілярах на деяку висоту.

У природі над дзеркалом ґрунтових вод утворюється облямівка капілярно-підпертої вологи.

Потужність капілярної облямівки і висота її потенціального підняття над рівнем ґрунтових вод 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.

Висота капілярної облямівки перебуває в оберненій залежності від ступеня мінералізації води. Вміст води в облямівці зменшується знизу вгору. Зміна вологи у піщаних ґрунтах відбувається різкіше.

Капілярно-посаджена вода утворюється в шаруватих ґрунтах, коли тонкодисперсний глинистий або менш структурний (дрібнозернистий) горизонт підстеляється горизонтом піщаним, пухкішим або більш структурним (грубозернистим), і міститься в ґрунтових шпарах і капілярах над границею зміни шарів.

Через розрив суцільності капілярної води на поверхні розділу тонкодисперсного і грубодисперсного горизонтів виникають додаткові нижні меніски і розвиваються додаткові несучі сили. Під впливом додаткових меніскових сил при перешаруванні дрібнозернистих і грубозернистих горизонтів ґрунт загалом може утримати додаткову кількість капілярної вологи, яка ніби посаджена на додаткові капілярні меніски нижньої поверхні горизонту.

Розподіл капілярної води в такому ґрунті відрізняється від його розподілу в орному ґрунті. Вміст капілярної вологи у профілі ґрунту різного гранулометричного складу матиме ступеневий характер, завдяки чому вологість шаруватого ґрунту буде завжди вищою, ніж вологість однорідного ґрунту.

2. 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 (рис. 12).

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 зацемлене повітря). Ґрунтові води утворюються при заповненні всіх шпар вільною водою. Це спричиняє наявність водонепроникного горизонту, який затримує низхідне стікання гравітаційної води, що надходить понад обсяг її відтоку.

Утворення ґрунтових вод може бути пов'язане також з напором і вклинюванням глибинних підземних вод, формуванням ґрунтового потоку в передгір'ях, річкових долинах. *Поверхню рівня ґрунтових вод називають дзеркалом, вона відображає рельєф поверхні.*

Ґрунтова вода може бути застійною, в таких випадках інтенсивно розвиваються анаеробні процеси. В аридних умовах при тривалому випаровуванні ґрунтових вод у них накопичується значна кількість солей.

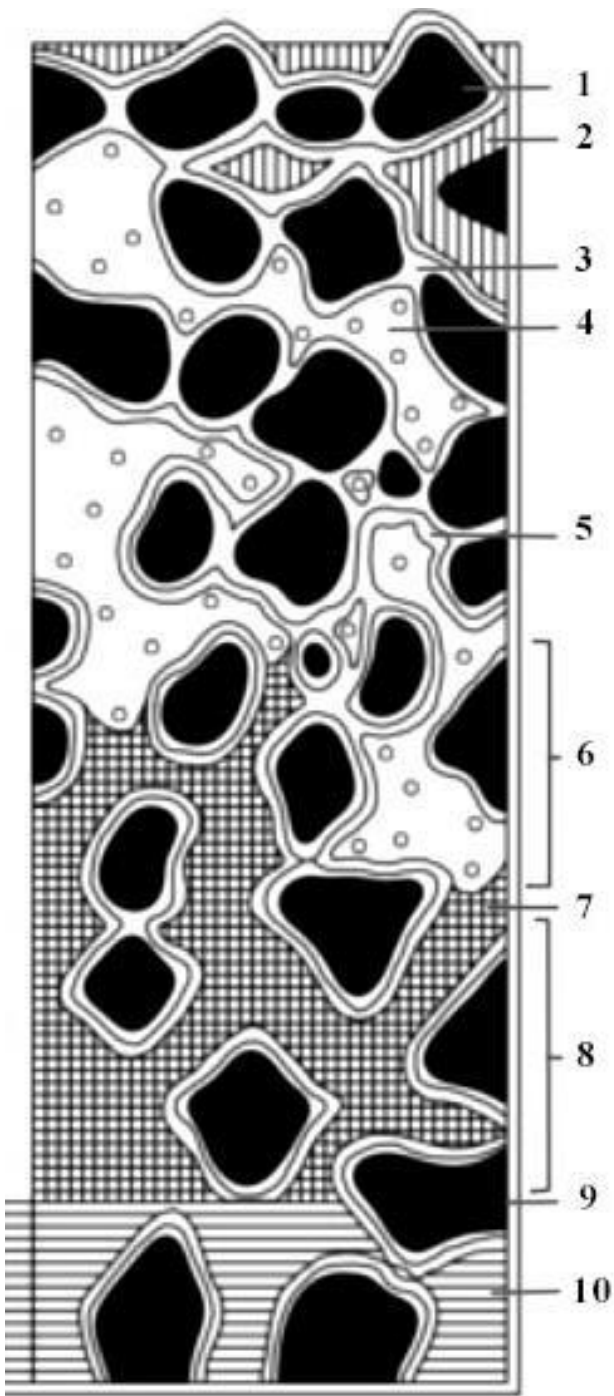


Рис. 12. Форми води у ґрунті:

1 – частинка ґрунту; 2 – гравітаційна вода;
 3 – гігроскопічна вода; 4 – ґрунтове повітря з парами води; 5 – плівкова вода; 6 – зона відкритої капілярної води; 7 – капілярна вода; 8 – зона замкнутої капілярної води; 9 – рівень ґрунтових вод; 10 – ґрунтові води.

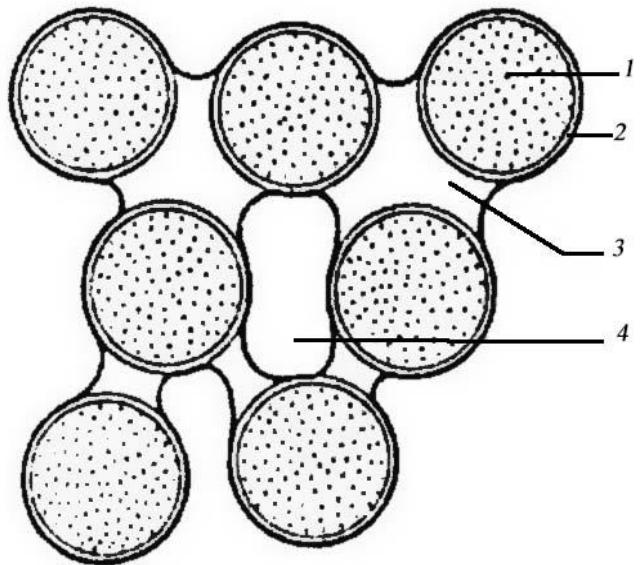


Рис. 13. Форми води у ґрунті:

1 – частинка ґрунту;
 2 – гігроскопічна вода;
 3 – капілярна вода;
 4 – ґрунтове повітря з парами води або гравітаційна вода.

Ґрунтові води можуть мати різкий відтік, коли водоносні горизонти мають грубий гранулометричний склад чи високу шпаруватість. Найбільша рухливість ґрунтових вод спостерігається у пісках і галечниках, найменша — у глинах.

У низинах з малорозчленованим рельєфом ґрунтові води лежать близько до поверхні (1,0–2,5 м) і через капілярну облямівку забезпечують рослини вологою. Коли ґрунтові води мінералізовані, то випаровування капілярної води зумовлює утворення солончаків.

На вододілах, передгірських рівнинах, високих терасах, розчленованих ріками, ярами, ґрунтові води залягають глибоко (глибше 10–15 м), що робить неможливим участь капілярної облямівки у ґрунтоутворних процесах і живленні рослин.

Наявність значної кількості вільної води в ґрунті спричиняє несприятливі явища заболочування і глейового процесу, що свідчить про тимчасове або постійне надлишкове зволоження.

Необхідно зазначити, що вода у ґрунті перебуває практично одночасно в різних станах, формах і під дією декількох сил, що впливає на формування водних властивостей ґрунту.

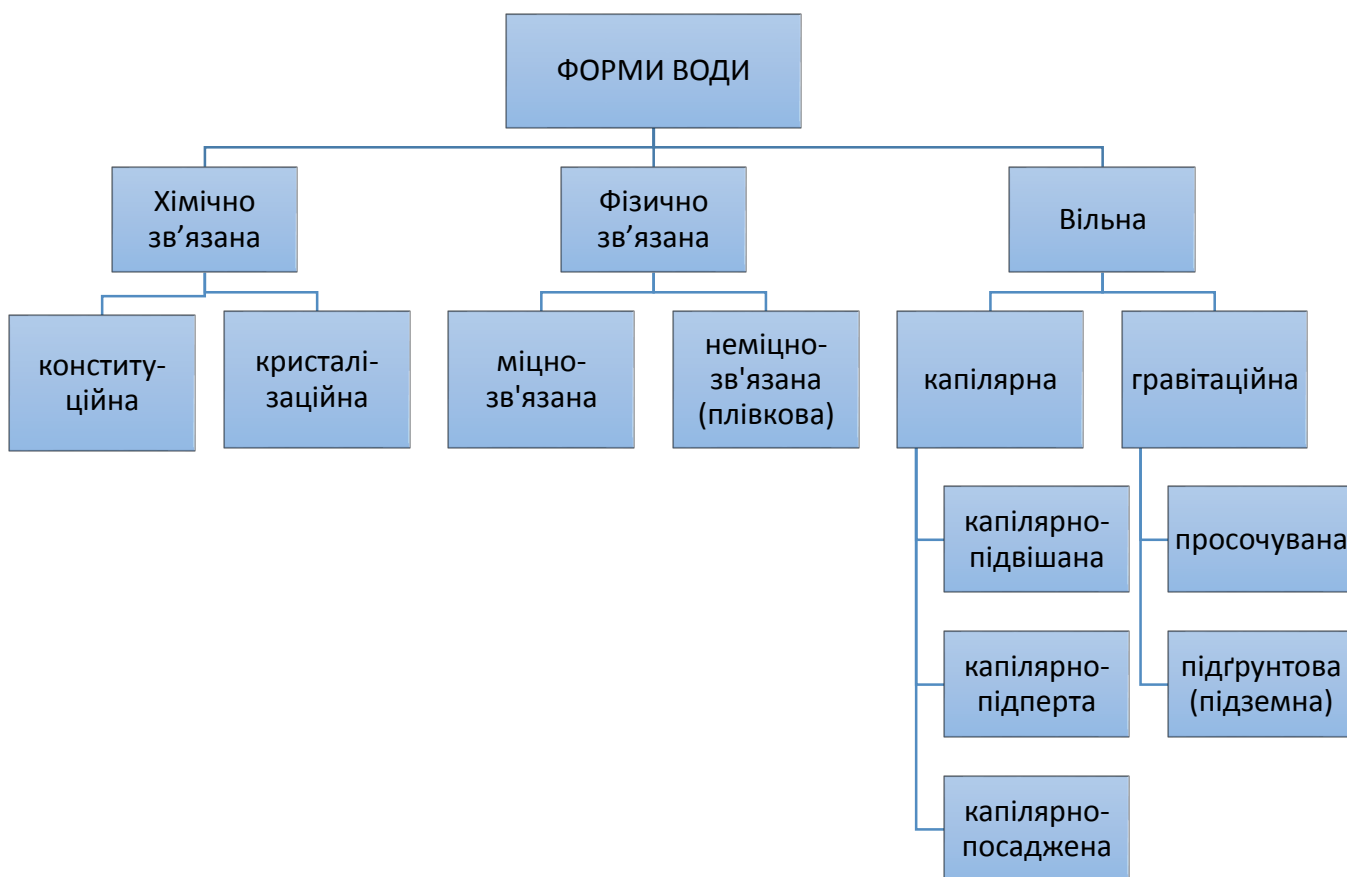


Рис. 14. Форми води у ґрунті.

Форми води в ґрунтах, їх властивості і доступність для рослин

Категорія вологи	Сили втримування	Властивості	Доступність води для рослин
Хімічнозв'язана	сила хімічних зв'язків	не є розчинником, не переміщається в ґрунті	недоступна
Міцнозв'язана (гігроскопічна)	Сорбційні (молекулярні, електростатичні) 10–20 тис атм (1–2*10 ⁹ Па)	замерзає від –10 до –78°C, не розчиняє солі, щільність 1,5–1,8 г/см ³	недоступна
Неміцнозв'язана (пухкозв'язана), (плівкова)	Сорбційні (поверхнево-молекулярні) 1–10 атм (3–50*10 ⁵ Па)	замерзає від –4°C до –10°C, погано розчиняє електроліти, дуже повільно переміщається в ґрунті	недоступна і важкодоступна
Капілярна	капілярні	рідка, рухома, є розчинником, переміщує солі і колоїди, замерзає при температурі від 0 до –4°C	середньодоступна і доступна
Гравітаційна	гравітаційні (стікає під дією сили тяжіння)	висока розчинна здатність, рухомість	легкодоступна і надлишкова

ВОДНО-ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ

Головні водно-фізичні властивості ґрунтів:

- **водоутримуюча** — здатність ґрунту утримувати воду, яка міститься в ньому, від стікання під дією сили тяжіння (*кількісною характеристикою якої є вологоємність*);
- **водопрпускна** — здатність ґрунтів всмоктувати й пропускати через себе воду, яка поступає з поверхні;
- **водопідйомна** здатність (*властивість викликати висхідне пересування в ньому води за рахунок капілярних сил*).

Водоутримуюча здатність ґрунту

Водоутримуюча здатність ґрунту — це здатність твердої фази ґрунту з використанням сорбційних і капілярних сил утримувати ґрунтову вологу, протидіючи її стіканню під впливом сил тяжіння.

Найбільшу кількість води, яку утримує ґрунт завдяки тим чи іншим силам, називають вологоємністю.

Розрізняють декілька видів вологоємності (рис. 15):

- повну,
- капілярну,
- максимальну молекулярну,
- максимальну гігроскопічну.

Повна вологоємність (ПВ, W_{ne}) — це здатність ґрунту вміщувати у своїй товщі воду в об'ємі, що відповідає шпаруватості ґрунту, не враховуючи шпар із защемленим повітрям (5–10 % від загальної шпаруватості).

Повна вологоємність — це максимальна кількість води, яка може знаходитися у ґрунті природного складення під час його затоплення. Іншими словами, повна вологоємність — це водомісткість ґрунтів.

Величина повної вологоємності здебільшого становить 40–50 %, інколи опускається до 30 % і зростає в окремих випадках до 80 % об'єму ґрунту. Стан вологості, постійно наближений до повної вологоємності, характерний для болотних ґрунтів. Такий стан характерний тільки для верхніх горизонтів під час інтенсивних затяжних дощів. Величина повної вологоємності залежить від гранулометричного складу, гумусованості, оструктурення і складення ґрунту.

Капілярна вологоємність (КВ, $W_{кв}$) — це рівноважна вологість ґрунту, яка знаходиться у межах капілярної кайми ґрунтових вод і представляє собою максимальну кількість капілярно-підпертої води. **Капілярна кайма** — шар капілярнопідпертої 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 вологоємність мало відрізняється від повної вологоємності, а на верхній межі капілярної кайми вона дорівнює найменшій вологоємності. Тому капілярна

вологоемність 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. У ґрунтах ця вода утримується капілярно-менісковими силами.

Найменша вологоемність ($НВ$, $W_{нв}$) — це встановлена після стікання залишку води волога попередньо насиченого ґрунту. Досягається, зазвичай, через 2–3 дні після інтенсивного дощу чи поливу добре дренованого гомогенного ґрунту.

Найменша вологоемність — це найбільша кількість води, яку ґрунт може втримати у нерухомому чи практично нерухомому стані після тривалого дощу або штучного зволоження і стікання вологи за глибокого залягання ґрунтових вод.

В природі вона спостерігається після рясних опадів чи період сніготанення.

При $НВ$ ґрунт містить максимальну кількість вологи, доступної для рослин.

Вона залежить передусім від:

– **гранулометричного складу;**

Гранулометричний склад ґрунту — це ваговий вміст у ньому зерен різної крупності, визначений у відсотках відносно маси сухої проби, взятої для аналізу.

Гранулометричний склад є одним із найважливіших факторів, які визначають такі фізичні властивості ґрунтів, як пористість, пластичність, водопроникність, висота капілярного підняття, набухання, усадка та ін.

Гранулометричним складом ґрунту називається процентне співвідношення окремих механічних фракцій (піску, пилу, мулу).

– **структурного стану;**

Структура ґрунту — це ґрунтові окремоті (агрегати або грудочки), на які розпадається ґрунт, а здатність його розпадатися на ці окремоті називають структурністю.

Найбільше агрономічне значення мають агрегати або грудочки орного горизонту діаметром від 0,5 до 10 мм.

При цьому ґрунт найбільш пухкий і втрачає найменше вологи, має достатню водопроникність, добре затримує вологу і стійкий проти вітрової ерозії.

На утворення структурних агрегатів дуже впливають органічні добрива, сидеральні культури та представники фауни — черв'яки, комахи та ін.

Пористість (шпаруватість) ґрунту називають загальний, або сумарний, об'єм всіх пор і проміжків між механічними елементами і структурними агрегатами ґрунту.

Для розвитку корневих систем деревних порід найкращі умови створюються при пористості ґрунтів у 55–65 %; при пористості 35–40 % коріння важко проникають у ґрунт, а при пористості глейових горизонтів ґрунт практично стає коренепроникним.

Шпаруватість залежить від структури ґрунту, чим більш структурний ґрунт, тим більша загальна пористість.

– **щільності.**

Щільність ґрунту – маса одиниці об'єму ґрунту в природному непорушеному й сухому стані, виражена в $г/см^3$.

Залежить від мінерального складу, вмісту гумусу, структури, складу і пористості. Чим пухкіший ґрунт, більший вміст гумусу, краще виражена структура, тим менша щільність. Наприклад, щільність підзолистого ґрунту — 1,3–1,8, чорнозему — 1,04–1,1.

Найбільш сприятлива для рослин величина щільності верхніх горизонтів ґрунтів коливається в межах 1,0–1,2–1,3 г/см³.

НВ — максимальна кількість капілярно-підвішеної води, яку може утримати ґрунт після стікання надлишку води при глибокому заляганні ґрунтових вод.

Вона відповідає найвищому зволоженню ґрунту в польових умовах.

Залежить від гранулометричного складу, структурності ґрунту і в середньому знаходиться в межах:

- піщані ґрунти — 5–10 %;
- супіщані — 10–20 %;
- суглинкові — 20–30 %;
- глинисті — 30–45 %.

З найменшою вологоємністю пов'язане поняття про дефіцит вологи у ґрунті.

Дефіцит вологи у ґрунті — це різниця між найменшою вологоємністю і фактичною вологістю ґрунту. Оптимальною вологістю вважають вологість ґрунту, що становить 70–100 % від найменшої вологоємності.

За величиною найменшої вологоємності розраховують поливні норми.

Вологість розриву капілярів (ВРК, $W_{врк}$) — це вологість ґрунту, за якої переривається гідравлічний зв'язок капілярної сітки і рух вологи через переосушення різко змінюється. Ця вологість є в інтервалі між найменшою вологоємністю і вологістю стійкого в'янення рослин.

Ця 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 % НВ для суглинкових ґрунтів,
- 50–60 % НВ для піщаних і супіщаних.

Ця волога нерухома, проте фізіологічно доступна для коріння рослин.

Вологість в'янення ($ВВ, W_{вв}$) — це така вологість ґрунту, за якої волога є недоступною для рослин, через що рослини в'януть, незворотно втрачають тургор і навіть при їхньому перенесенні у насичену парами води атмосферу в'януть.

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 см³ 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.

Вміст води у ґрунті, який відповідає вологості в'янення, є нижньою межею доступної для рослин вологи.

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.

Вологість в'янення ($ВВ$) — одна з найважливіших ґрунтово-гідрологічних констант, тобто для кожного типу ґрунту є відповідна йому вологість в'янення, яка у свою чергу головним чином залежить від гранулометричного складу:

- піщані ґрунти — 1,5 – 2,0 %;
- легкосуглинкові — 2,3 – 4,5%;
- важкосуглинкові — 7,5 – 12 %;
- глинисті — 15 – 18 %.
- торф'яні — 27 – 33 %

Чисельно вологість в'янення дорівнює 1,25, 1,34 або 1,5 максимальної гігроскопічності (залежно від гранулометричного складу — важкий, середній, легкий). Цю величину називають також *коефіцієнтом в'янення*.

Максимальна гігроскопічна вологоємність ($МГ, W_{мг}$) — найбільша кількість води, яка може бути утримана сорбційними силами на поверхні твердих частинок.

Це вологість ґрунту при знаходженні його в атмосфері з відносною вологістю 98 %. Це максимальна кількість вологи, яку ґрунт може сорбувати із близького до насиченого водяною парою повітря.

Вода, що є в ґрунті у стані максимальної гігроскопічності, недоступна рослинам. Це мертвий запас вологи в ґрунті.

Гігроскопічна вологість ($ГВ, W_2$) — 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.

Таблиця 3

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

<i>Сухий ґрунт</i>	ГВ	МГ	ВВ	ВРК	НВ	КВ	ПВ
> зменшення ступеня зв'язку води з твердою фазою ґрунту >							
<i>Сухий ґрунт</i>		МAB	ММВ		МКСВ	КВ	ПВ
<i>Форма зв'язку</i>	міцнозв'язана		неміцно-зв'язана	слабозв'язана		незв'язана	
<i>Рухомість</i>	нерухома		слаборухома	рухома		рухома	вільна
<i>Стан</i>	адсорбована		плівкова	плівково-капілярна		капілярна	гравітаційна
<i>Механізм утримування (фізична природа сил)</i>	молекулярні хімічні електростатичні		поверхнево-молекулярні	капілярно-сорбційні		капілярні	гравітаційні
<i>Природні об'єкти</i>	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

Волога у нерухомому стані

Волога у стані руху

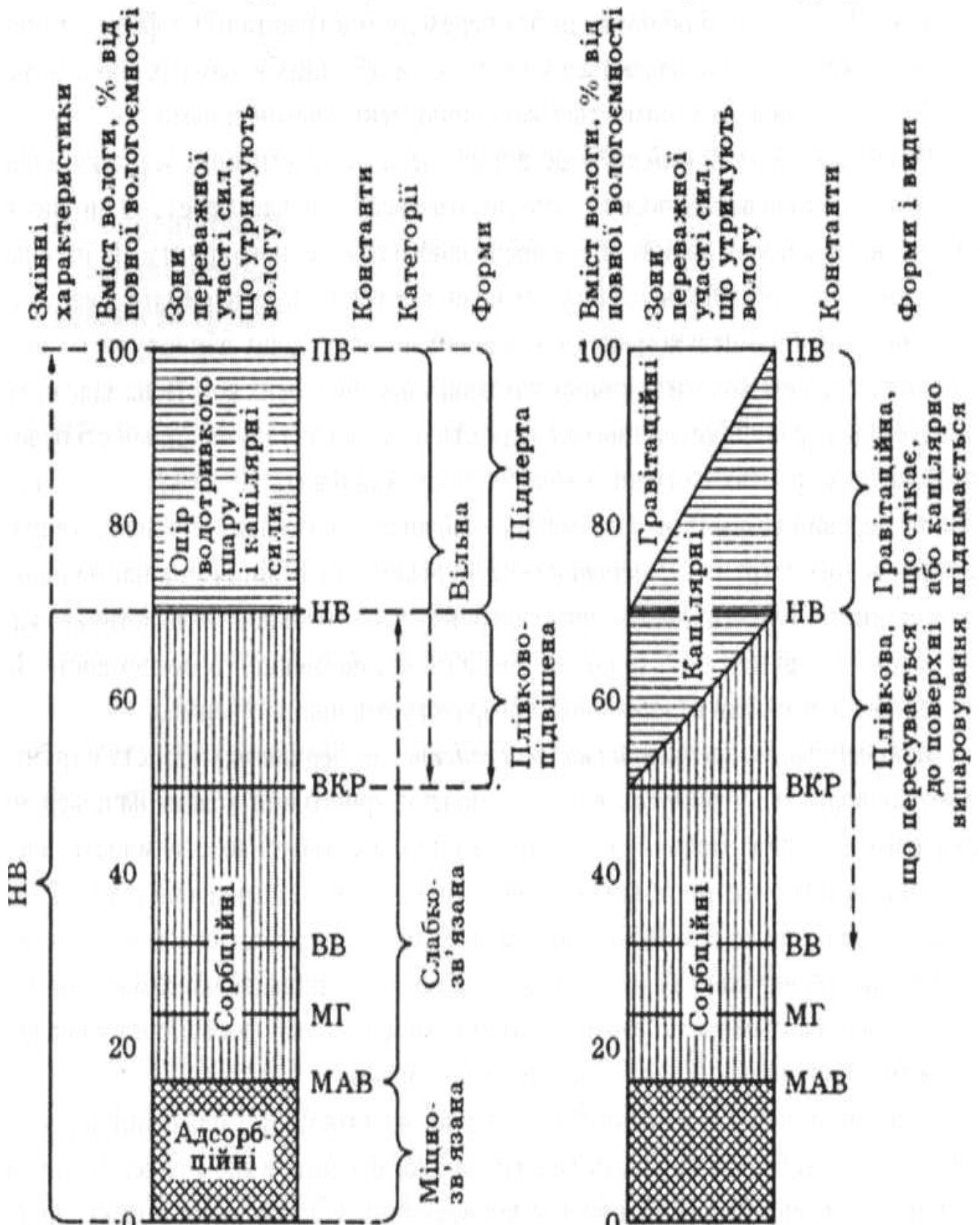


Рис. 15. Форми ґрунтової вологи у ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу (за О. А. Роде).

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 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. Вміст води у ґрунті, який відповідає вологості в'янення, є нижньою межею доступної для рослин вологи.

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.

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;
- 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.

Водопроникність залежить від таких властивостей ґрунту (рис. 16):

- *гранулометричного складу,*
- *хімічних властивостей,*
- *структурного стану,*
- *щільності,*
- *вологості й тривалості зволоженості ґрунту.*

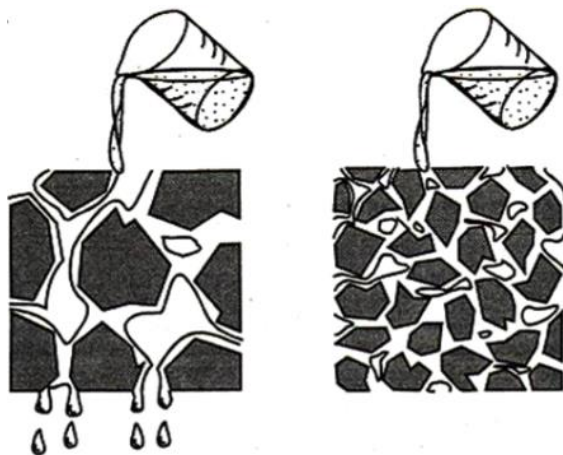


Рис. 16. Залежність водопроникності від властивостей ґрунту.

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 можливий підйом води на значно більшу висоту, ніж це відбувається у природі — на 75 м і більше. Зі зміною гранулометричного складу (ґрунт стає важчим) водопідйомна 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 проясненні.

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 водопідйомній здатності ґрунтів, ґрунтові води беруть участь у додатковому забезпеченні рослин водою, розвитку відновних процесів і засоленні ґрунтового профілю.

Висхідний рух властивий не тільки капілярно-підпертій, але й капілярно-підвішеній 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 (рис. 17).



Рис. 17. Утворення кірки на поверхні безструктурного ґрунту.

У структурних ґрунтах капілярна вода менш рухома завдяки роз'єднаності капілярів грубими міжагрегатними шпарами і камерами, тому краще зберігається і більш рівномірно використовується рослинами.

Структура ґрунту — це здатність ґрунтових частинок з'єднуватись за допомогою гумусу і глинистих частинок в стійкі грудки (рис. 18).



Рис. 18. Структурний і неструктурний ґрунт.

Одним із заходів зменшення втрат води на випаровування є глибоке розпушування і оструктурення ґрунтів.

ДОСТУПНІСТЬ ВОЛОГИ ДЛЯ РОСЛИН

Доступною вологою для рослин є та частина ґрунтової вологи, яка може бути засвоєна ними в процесі життєдіяльності. Рослини в процесі життя використовують велику кількість води. Головна маса цієї води витрачається на транспірацію.

Транспірація (від лат. *trans* — через, *spiro* — дихання) — процес випаровування води з поверхні рослин, що відбувається через продихи (рис. 19) та кутикулу. Основним органом транспірації є листок. Інтенсивність транспірації залежить від температури, вологості повітря, швидкості вітру, світла, концентрації вуглекислого газу. Транспірація відповідає приблизно за 10 % усієї вологи, що випаровується з суходолу.

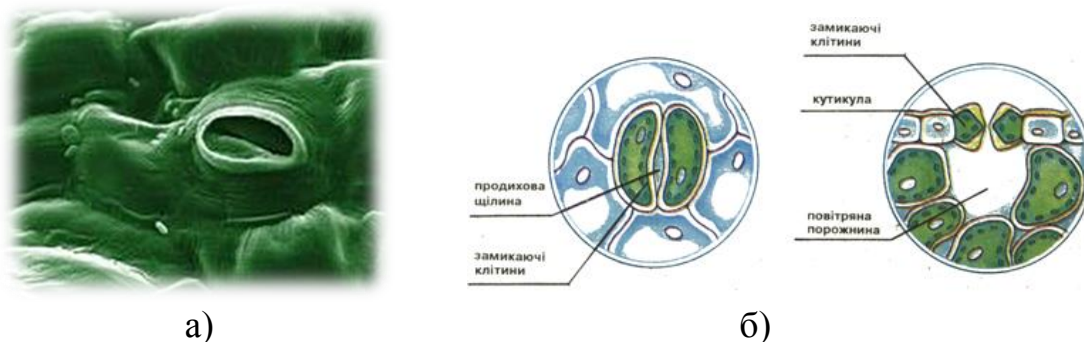


Рис. 19. Продих листка томату (а), будова продиху (б).

Евапотранспірація (від лат. *evaporatio* — випаровується і транспірація), або сумарне випаровування — кількість вологи, що переходить в атмосферу у вигляді пари в результаті десукції (всмоктування вологи рослинами через кореневу систему) і подальшої транспірації (фізіологічне випаровування) і фізичного випаровування з ґрунту і з поверхні рослинності.

Потреба рослин у воді виражається **транспіраційним коефіцієнтом**, тобто відношенням кількості води, випарованої рослинами, до загального приросту сухої речовини за певний проміжок часу.

Цей коефіцієнт для культурних рослин коливається від 200 до 1000, а в більшості випадків він становить 350–450. Отже, для побудови 1 т рослинної маси витрачається від 200 до 1000 т води.

Щодо рослин ґрунтову вологу можна поділити на такі категорії (за О. А. Роде).

- 1. Недоступна волога** для рослин (мертвий запас вологи), яка приблизно відповідає максимальному вмістові міцно зв'язаної води або величині максимально адсорбованої вологості.
- 2. Дуже важкодоступна** для рослин волога — це частина неміцно зв'язаної вологи в інтервалі між максимально адсорбованою вологостю (МАВ, МГ) і коефіцієнтом в'янення рослин (ВВ), що дорівнює приблизно 1,5 максимальної гігроскопічності. В основному пухкозв'язана (плівкова) вода. Важка доступність зумовлена її низькою рухомістю.
- 3. Важкодоступна волога** є в межах між величиною вологи в'янення (ВВ) і вологи розриву капілярів (ВРК). У цьому інтервалі вологості рослини можуть існувати, не виявляючи ознак нестачі вологи, проте продуктивність рослинного покриву буде низькою.

4. **Середньодоступна волога** є в межах від вологості розриву капілярів (ВРК) до величини найменшої вологоємності (НВ). Продуктивність рослин різко збільшується при підвищенні вмісту води вище вологості розриву капілярів і продовжує підвищуватися з її зростанням.

Різниця між найменшою вологоємністю (НВ) та вологістю в'янення (ВВ) — це діапазон фізіологічно активної води в ґрунті.

5. **Легкодоступна волога** міститься в межах величин вологості від найменшої (ВН) до повної вологоємності (ПВ), проте в цьому інтервалі вміст води вже може ускладнити надходження кисню повітря і стати причиною утрудненого дихання рослин.

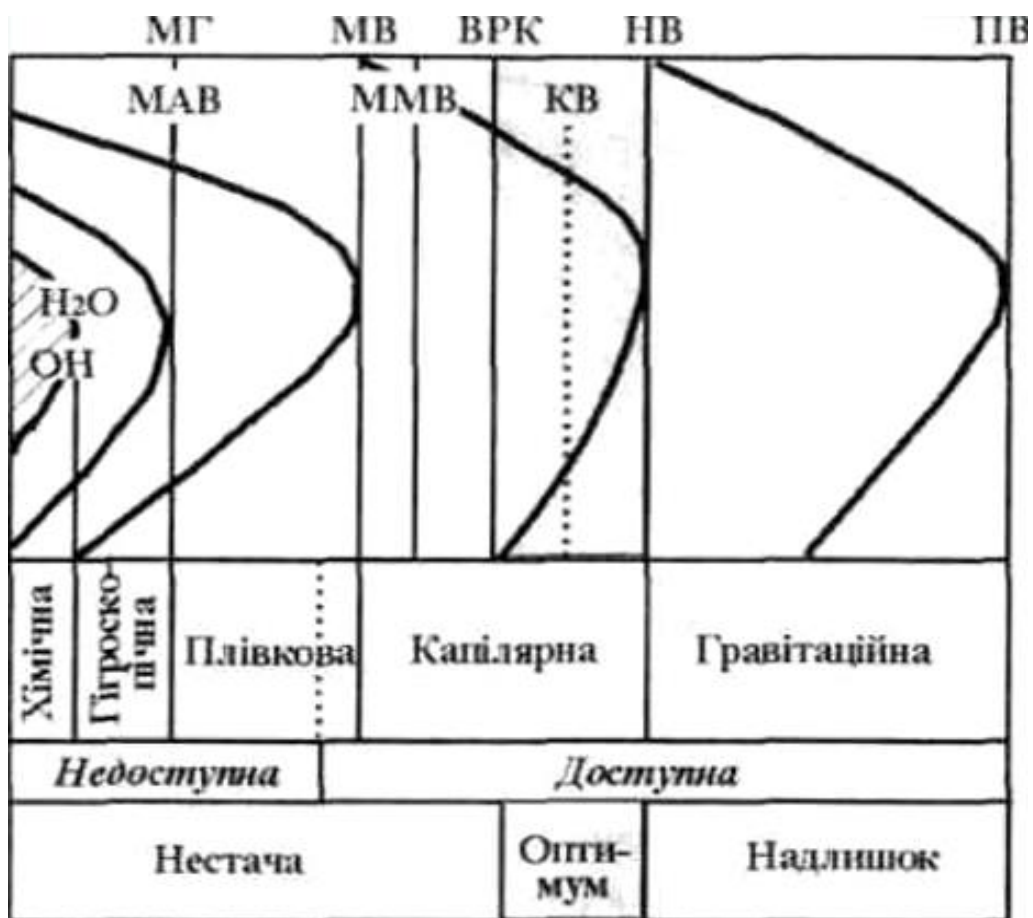


Рис. 20. Форми ґрунтової води та їх доступність рослинам.

Регулюючи вміст води в ґрунті, необхідно намагатися, щоб його вологість підтримувалася на рівні між величиною вологості розриву капілярів і найменшою вологоємністю, тобто на рівні середньодоступної води і дещо вище, що складає біля 70 % найменшої вологоємності.

Доступність води ґрунту обмежують такі фактори:

- низька температура ґрунту;
- висока концентрація легкорозчинних солей;
- висока кислотність ґрунту;
- нестача ґрунтового повітря;
- відсутність кисню у ґрунтовій воді.

ВОДНИЙ РЕЖИМ ҐРУНТІВ

Водний режим ґрунтів та його типи

Водний режим ґрунтів — це процес надходження вологи у ґрунт, її перерозподіл і витрати.

Кількісно його виражають через водний баланс. Водний баланс характеризує надходження вологи в ґрунт і витрати з нього.

Загальне рівняння водного балансу виражають формулою:

$$B_o + B_{оп} + B_z + B_k + B_n + B_b = E_v + E_m + B_i + B_{nc} + B_c + B_l,$$

де B_o — запаси вологи у ґрунті *на початку спостереження*;

$B_{оп}$ — сума *опадів* за період спостережень;

B_z — кількість вологи, яка надійшла з *ґрунтових вод*;

B_k — кількість вологи, яка *конденсується з парів води*;

B_n — кількість вологи, яка надходить у результаті *поверхневого притоку води*;

B_b — кількість вологи, яка надійшла від *бокового притоку ґрунтових вод*;

E_v — кількість води, яка *випарувалася з поверхні ґрунту* за період спостережень;

E_m — кількість води, яка витратилася на *транспірацію*;

B_i — кількість води, яка *інфільтрувалася у глибокі горизонти ґрунту*;

B_{nc} — кількість води, яка витратилася у результаті *поверхневого стоку*;

B_c — кількість води, яка витратилася із *боковим внутрішньоґрунтовим стоком*;

B_l — запас вологи у ґрунті *наприкінці періоду спостережень*.

Ліва частина рівняння об'єднує прибуткові статті балансу, права — видаткові.

Здебільшого прогресуючого зволоження чи переосушення території не відбувається, тому в рівнянні водного балансу ліва й права частини рівні. Водний баланс характеризується річними циклами, коли за річний період процеси прибутку та витрат вологи повторюються.

Водний баланс можна скласти для різних ґрунтових шарів, для всієї товщі ґрунту до певної глибини. Запаси вологи, статті прибутку і витрат у ґрунті розраховують у мм водяного стовпа або в м³/га.

Запаси вологи у ґрунті, які вираховують за вегетаційний період, дають змогу оцінювати забезпеченість вологою сільськогосподарських культур.

Водний баланс для різних ґрунтово-кліматичних зон і окремих ділянок місцевості складається неоднаково. Залежно від співвідношення основних статей річного водного балансу вирізняють декілька типів водного режиму ґрунтів.

Класифікацію типів водного режиму ґрунтів розробив Г. М. Висоцький. Він враховував глибину проникнення атмосферних вод у ґрунт протягом року (зокрема, чи проникають вони до ґрунтових вод), співвідношення процесів висхідного і низхідного рухів вологи, відношення кількості опадів до випаровування — *коефіцієнт зволоження (КЗ)*, наявність у профілі ґрунту багаторічної мерзлоти.

Відповідно до різних природних умов Г. М. Висоцький виокремив такі типи водного режиму ґрунтів:

- промивний,
- періодично промивний,
- непромивний,
- випітний.

Розвиваючи вчення Г. М. Висоцького, О. А. Роде виділив уже шість типів водного режиму ґрунтів (рис. 21):

- мерзлотний,
- промивний,
- періодично промивний,
- непромивний,
- випітний,
- іригаційний.

Мерзлотний тип водного режиму ґрунтів поширений у районах багаторічної мерзлоти. Замерзлий шар ґрунто-підґрунтя є водонепроникним, на ньому формується надмерзлотна верховодка. Протягом вегетаційного періоду верхня частина розмерзлого ґрунту насичена водою.

Промивний тип водного режиму ґрунтів характерний для місцевостей, де сума річних опадів більша від величини випаровування ($KЗ > I$). Ґрунтова товща щорічно навесні та восени промивається до ґрунтових вод, що спричиняє інтенсивне винесення продуктів ґрунтоутворення. У таких умовах формуються ґрунти підзолистого типу, червоноземи і жовтоземи.

Болотний підтип водного режиму розвивається при близькому до поверхні заляганні ґрунтових вод, низькій водопроникності ґрунтів і ґрунтоутворних порід, що характерно для підзолисто-болотних і болотних ґрунтів.

Періодично промивний тип водного режиму ґрунтів характеризується середньою багаторічною збалансованістю опадів і випаровування ($KЗ \approx I$). Для водного режиму характерне чергування обмеженого промочування ґрунтово-підґрунтової товщі в сухі роки і наскрізне промочування у вологі. Промивання ґрунтів надлишковими опадами відбувається один — два рази через декілька років.

Такий водний режим властивий сірим лісовим ґрунтам, чорноземам опідзоленим і вилугуваним. Водозабезпеченість ґрунтів нестійка.

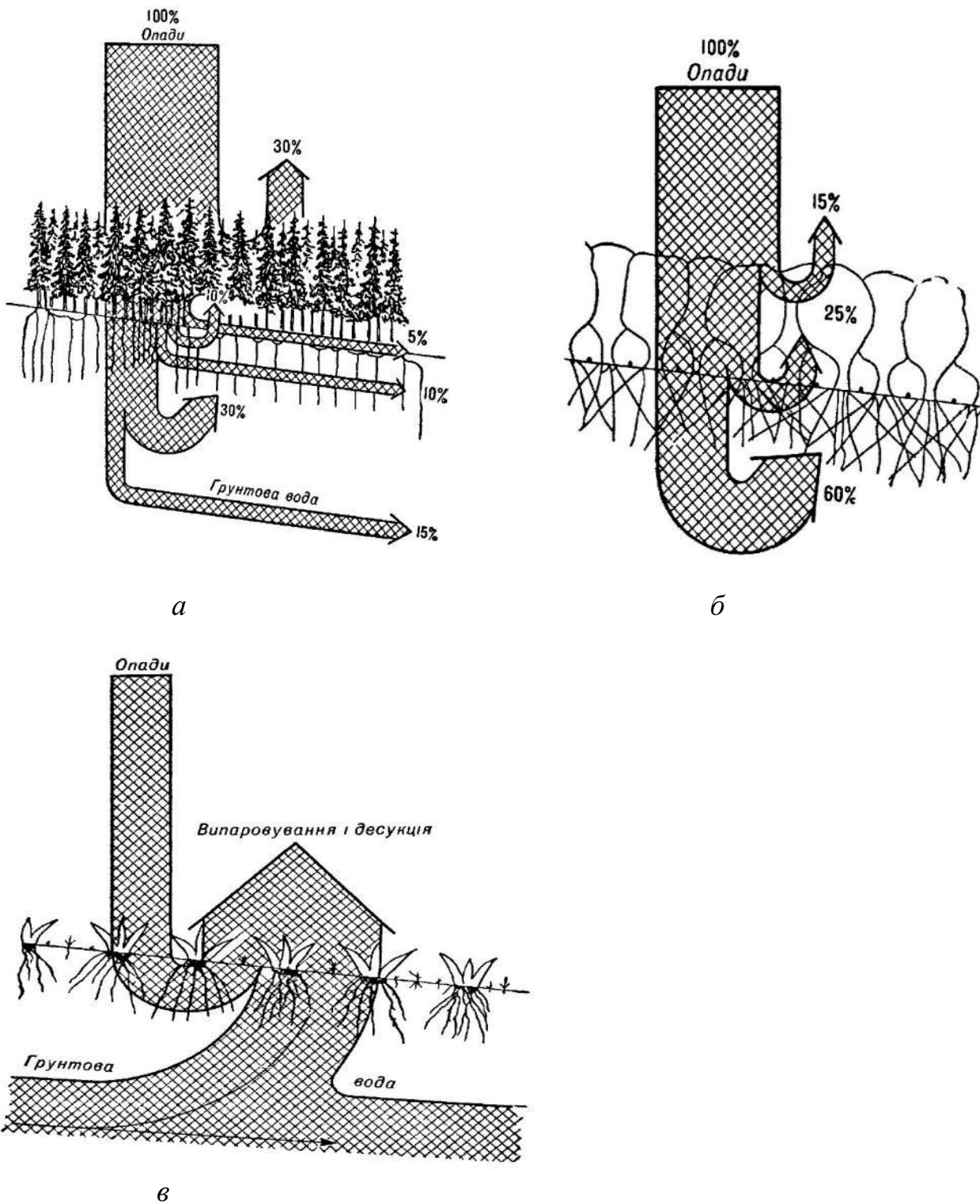


Рис. 21. Схематичні зображення типів водного режиму (за О. А. Роде):
 а – промивний тип; б – непромивний тип; в – випітний тип.

Непромивний тип водного режиму ґрунтів властивий місцевостям, де волога опадів розподіляється тільки у верхніх горизонтах і не досягає ґрунтових вод ($KZ < I$). Зв'язок між атмосферною і ґрунтовою водою в ґрунті здійснюється через шар з дуже низькою вологістю, близькою до вологості в'янення. Обмін вологою відбувається шляхом переміщення води у вигляді пари. Такий водний режим характерний для степових ґрунтів — чорноземів і каштанових, бурих

напівпустельних і сіро-бурих пустельних ґрунтів. Коефіцієнт зволоження знижується до 0,1. Витрати вологи за непромивного типу водного режиму відбуваються в основному на транспірацію, тому у верхніх горизонтах ґрунтів низхідні потоки вологи переважають над висхідними.

Випітний тип водного режиму ґрунтів проявляється у степовій і особливо в напівпустельній і пустельній зонах у випадку близького залягання ґрунтових вод. Характерне переважання висхідних потоків вологи за рахунок підтоку її капілярами від ґрунтових вод. При великій мінералізації ґрунтових вод у ґрунт надходять легкорозчинні солі і ґрунти засолюються.

Іригаційний тип водного режиму ґрунтів створюється при додатковому зволоженні ґрунту зрошуваними водами. При зрошенні в різні періоди проявляються різні типи водного режиму. В період поливу формується промивний тип, який змінюється непромивним і навіть випітним, внаслідок чого в ґрунті періодично утворюються низхідні і висхідні потоки води.

Заходи щодо регулювання водного режиму ґрунту

Регулювання водного режиму ґрунтів є обов'язковим заходом в умовах інтенсивного землеробства. У конкретних ґрунтово-кліматичних умовах способи регулювання водного режиму ґрунтів мають свої особливості.

ґрунти **болотного типу**, а також мінеральні заболочені потребують проведення *осушувальних заходів* — облаштування закритого дренажу чи використання відкритих дрен для відведення надлишкової вологи.

Регулювання водного режиму у вологій зоні зі значною кількістю опадів не обмежується осушенням. Ефективним засобом покращення вологозабезпечення рослин є *двостороннє регулювання вологи*, коли надлишок вологи відводять з допомогою дренажу, а за необхідності воду подають на поле дощуванням чи підняттям рівня ґрунтових вод.

Покращенню водного режиму **слабодренованих територій зони достатнього і надлишкового зволоження** сприяє планування поверхні ґрунту і нівелювання мікро- та мезопонижень (*бороздування, вирівнювання поверхні ґрунту*), в яких навесні та після літніх дощів спостерігається тривале затримання води.

На ґрунтах з **тимчасово надлишковим зволоженням** для відведення надлишку вологи доцільно з *осені робити гребні*. Високі гребні сприяють збільшенню фізичного випаровування, а по борознах відбувається поверхневий стік води за межі поля.

У **зоні нестійкого зволоження** в засушливих районах регулювання водного режиму спрямоване на накопичення вологи у ґрунті та її раціональне використання:

- Одним зі способів накопичення вологи у ґрунті є *затримання снігу і талих вод*.
- Виняткова роль у накопиченні вологи належить *полезахисним лісовим смугам*.
- Сприяють цьому і чисті пари, зокрема *чорні пари*.
- Важливе значення мають *агротехнічні заходи* — *поверхнєве боронування, оранка уперек схилів, лункування, обвалування, післяпосівне прокатування і мульчування, внесення мінеральних і органічних добрив*.

У **степовій, напівпустельній і пустельній зонах** основний спосіб покращення водного режиму ґрунтів — *зрошення*. У ході проведення зрошення особливе значення має боротьба з непродуктивними витратами води з метою запобігання вторинного засолення ґрунтів.

У комплексі заходів з покращення водозабезпечення рослин у різних природних зонах важливо передбачити планомірне покращення водних властивостей ґрунтів, їхнього структурного стану.

Екологічне значення водного режиму ґрунтів

Типи водного режиму ґрунтів мають важливе *екологічне значення*. Так, промивний тип водного режиму ґрунтів супроводжується винесенням речовин з ґрунту включно з забруднювачами у ґрунтові води. Далі ґрунтові води виносять ці речовини в заплави й річки. Так ґрунти очищаються від забруднювачів, тобто відбувається *природне очищення ґрунту*.

За непромивного водного режиму у випадку постійного чи навіть тимчасового надходження забруднювачів вони зберігаються тривалий час, доки не зміниться водний режим чи ґрунти не будуть меліоровані.

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ

ВОЛОГІСТЬ ҐРУНТУ

Вологістю ґрунту називають кількість води, яка міститься в ґрунтовому зразку і видаляється внаслідок висушування його до сталої маси при температурі 100–105°C.

Виділяють такі **форми вологи**:

- *хімічно зв'язану* (не видаляється при 105°C),
- *пароподібну, зв'язану* (сорбовану поверхнею часточок ґрунту),
- *вільну* (несорбовану вологу, яка заповнює ґрунтові пори і здатна переміщуватися в них).

Найбільше значення в житті рослин і ґрунту має зв'язана і вільна волога.

Вологість ґрунту визначають при вивченні:

- *водних властивостей*
- *водного режиму ґрунту.*

При вивченні водних властивостей ґрунту визначають:

- *повну вологоємність (ПВ),*
- *капілярну вологоємність (КВ),*
- *найменшу вологоємність (НВ),*
- *вологість в'янення (ВВ),*
- *максимальну гігроскопічну вологість ґрунту (МГ).*

При вивченні водного режиму ґрунту його *вологість визначають у динаміці*, що дає змогу скласти водний баланс за певний проміжок часу.

Вологість ґрунту визначають у різні фази росту і розвитку культур, а на зрошуваних землях — і під час поливів.

Вологість ґрунту необхідно знати:

- при визначенні *запасу вологи в ґрунті і її доступності для рослин (запас продуктивної вологи)*
- для перерахунку результатів аналізів на суху масу ґрунту.

Найбільш поширеним методом для визначення вологості ґрунту, яку виражають в абсолютних і відносних одиницях, є **термогравіметричний метод**.

Абсолютні одиниці показують вміст вологи у відсотках від маси ґрунту, у відсотках від об'єму ґрунту або запас вологи в міліметрах чи метрах кубічних.

У *відносних одиницях* вологість виражають, якщо вона дорівнює вологості відповідно до тієї або іншої форми вологоємності, наприклад, у відсотках від повної вологоємності.

У ґрунті визначають **загальну** (або **польову**) **вологість** і **гігроскопічну вологість** (сорбовану ґрунтом), яка міститься у зразках ґрунту, доведеного до повітряно-сухого стану.

Методи визначення вологості ґрунту

Прямі методи екстрагують воду із зразка за допомогою випаровування, вимивання або хімічної реакції. Вологість ґрунту розраховується шляхом порівняння маси випареної води та сухої землі. Найбільш поширеним і надійним способом вимірювання вологості ґрунту є **термостатно-ваговий метод**.

Непрямі методи засновані на визначенні характеристик ґрунту в залежності від ступеня його вологості, а також визначенні характеристик поміщених у нього предметів (наприклад, пористого абсорбера).

У **дистанційних** методах використовуються супутникові дані, отримані завдяки відбивній здатності поверхні землі (відбиттю електромагнітного випромінювання в певному спектральному діапазоні).

Альтернативні методи визначення ґрунтової вологості

- **Радіоактивний** — підрахунок радіоактивних частинок. В його основу покладено використання ефекту взаємодії гамма-променів і нейтронів з атомами води, що є в ґрунті. Ці методи найбільш оперативні. Не потребують попереднього відбору зразків ґрунту. Найчастіше використовують прилад НІВ-1. Він служить для одноразового та систематичного вимірювання об'ємної вологості ґрунту в діапазоні 2–40 %.
- **Електричний** — визначення опірності, провідності, індукції та ємності поглинання.



Рис. 24. Вимірювання вологості із застосуванням діелектричних зондів TDR і EDR.

- **Тензометричний** — вимір різниці тиску сухої та зволоженої землі. Метод базується на вимірюванні всмоктувальної сили ґрунту за допомогою приладу — тензіметра (рис. 25). Найчастіше використовують тензіметр-воломір Шишкова. При його використанні будують градуйовану криву за показниками манометра і вологості ґрунту.



Рис. 25. Тензиметр.

- **Оптичний** – вивчення відбиття світлових потоків.
- **Експрес-методи** — в основному, органолептичні (контроль, за якого первинна інформація сприймається органами чуття людини).

Окомірний метод. Найбільш неточний. Застосовується при вивченні ґрунтових розрізів або при виборі оптимальних строків обробітку ґрунту, коли відсутні спеціальні прилади і немає потреби в одержанні абсолютних показників. Ступінь зволоження ґрунту визначають за такою шкалою:

1. **Ґрунт мокрий.** При копанні ґрунтового розрізу зі стінок стікає вода, а при стисканні ґрунту в руці поміж пальцями виділяється вода.
2. **Ґрунт сирий.** Вода не стікає, але прикладений аркуш фільтрувального паперу швидко промокає, стиснутий у руці ґрунт перетворюється в тістоподібну масу.
3. **Ґрунт вологий.** Прикладений до ґрунту фільтрувальний папір при натисканні зволожується. Така вологість є оптимальною для обробітку ґрунту.
4. **Ґрунт свіжий.** При дотику до ґрунту відчувається прохолода, фільтрувальний папір не зволожується, до рук не прилипає, при розтиранні в пальцях не пилить.
5. **Ґрунт сухий.** При розтиранні пилить.

Таблиця 4

Шкала візуального визначення вологості ґрунту

Ґрунт	Орієнтовний вміст води, % від маси абсолютно сухого ґрунту			
	15	15—20	20—25	25—30
Легко-суглинковий	Ґрунт вологий; грудки формуються добре; кулька формується, але при натисканні розсипається	Ґрунт сирий; грудки міцні; кулька формується, але при натисканні легко розсипається; короткий шнур утворюється з утрудненням	Ґрунт мокрий; грудки здатні ліпитися, шнур довгий, легко подрібнюється на коротші шнури	Ґрунт тече і просочується між пальцями
Середньо-суглинковий	Ґрунт слабо вологий; грудки і кулька формуються добре; при скачуванні кульки шнур не утворюється	Ґрунт вологий; формуються міцні грудки; при скачуванні утворюються короткі шнури	Ґрунт сирий, грудки здатні добре ліпитися, при скачуванні кульки утворюється довгий шнур	Ґрунт вологий; грудки здатні добре ліпитися; шнур довгий, міцний
Важко-суглинковий та глинистий	Ґрунт сухий; грудки в руці формуються погано; шнур при скачуванні розсипається	Ґрунт вологий; грудки формуються добре; шнур при скачуванні подрібнюється	Ґрунт вологий; грудки міцні, при скачуванні кульки утворюються короткі шнури	Ґрунт мокрий, грудки здатні ліпитися, кулька міцна; шнур довгий, міцний

Відбір зразків ґрунту

Зразки ґрунту для визначення вологості відбирають пошарово, залежно від поставленої мети дослідження. Відібраний зразок ґрунту виймають з бура, ретельно перемішують, заповнюють ним бюкс на 2/3 об'єму і щільно закривають кришкою. Потрібно стежити, щоб в одну пробу не потрапив матеріал з різних горизонтів, які відмінні за гранулометричним і хімічним складом; Відбирати зразок потрібно швидко, захищаючи його від вітру, сонця і дощу. Якомога швидше транспортувати у лабораторію і зважити (рис. 22).



Рис. 22. Відбір зразків ґрунту для визначення вологи.

Визначають вологість ґрунту, враховуючи генетичні горизонти і геологічні нашарування. 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) (рис. 23). Складовими частинами бура є ріжуча робоча частина, штанга і ручка.

З наявних ґрунтових бурів різних конструкцій найдоступніший і зручний у роботі серійний бур ґрунтовий БГ-50. Він має два замінних 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 ножом поверхню зразка, яка в ньому міститься, на завчасно підготовлену поверхню (лист фанери, металу).

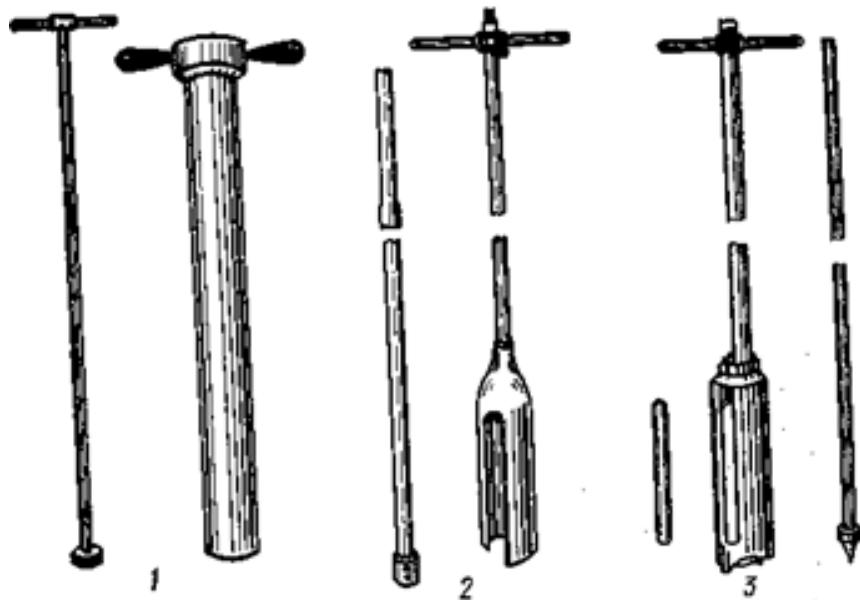


Рис. 23. Бури різної конструкції для відбору зразків ґрунту на вологість:
 1 – бур Качинського, 2 – бур Ізмаїльського, 3 – бур Некрасова.

При визначенні вмісту води в ґрунті з метою встановлення рівня вологозабезпеченості культурних рослин зразки ґрунту **відбирають до глибини проникнення коренів**:

- Для переважної більшості культурних рослин в умовах лісостепової і степової зон достатньою глибиною є **200 см**.
- В умовах підзолистих ґрунтів, де корені рослин проникають на меншу глибину, визначення можна проводити на глибину до **100 см**.

Вологість ґрунту визначають у *кожному 10-сантиметровому шарі*, тому і зразки ґрунту відбирають через кожні 10 см до встановленої глибини.

Якщо потрібна лише *загальна оцінка* еколого-гідрологічних умов розвитку рослин, визначення вологості можна обмежити *найбільш біологічно активною і корененасиченою товщиною ґрунту* (до 25–50 см).

У ґрунтах з **явно вираженою диференціацією зразки беруть з генетичних горизонтів**. Для визначення польової вологості зразки відбирають у шарах ґрунту:

- до 50 см у 3–5-кратній повторності,
- в більш глибоких – у 2–3-кратній

З метою забезпечення високої достовірності дослідження (за рекомендаціями фахівців Інституту зрошуваного землеробства):

- з одного поля по одному попереднику відбирається не менше трьох свердловин для визначення вологості ґрунту;
- якщо поле має нерівний рельєф та розташоване, наприклад, на схилі — проби ґрунту відбираються як на верхній так і на нижній частинах масиву.

Визначення польової вологи ґрунту

Суть методу полягає у визначенні вмісту вологи у відібраних у полі зразках ґрунту після висушування їх у сушильній шафі або термостаті при 100–105°C до сталої маси (рис. 26).



Рис. 26. Обладнання для визначення польової вологи ґрунту.

Хід аналізу. 10–30 г ґрунту з відібраних у полі (за допомогою бура) зразків вміщують у попередньо зважені і пронумеровані алюмінієві бюкси, які відразу закривають кришками, щоб запобігти втратам вологи.

- У лабораторії бюкси з ґрунтом зважують. (При використанні бюксів масою 4–14 г похибка зважування не повинна перевищувати 0,01 г, якщо маса бюксів 21–35 г, допускається похибка зважування до 0,1 г.)
- Після зважування бюкси відкривають і вміщують у сушильну шафу для висушування при 100–105°C, при цьому кришки знімають і надівають на дно бюксів. Тривалість висушування залежить від вологості зразків і завантаження сушильної шафи. При середній вологості ґрунту і неповному завантаженні сушильної шафи висушування триває 6–8 годин.
- Після висушування бюкси з ґрунтом закривають кришками, охолоджують в ексікаторі 20–30 хв і зважують. Потім бюкси відкривають і знову ставлять у шафу на 1,5–2 год для контрольного висушування. Висушування і

зважування проводять доти, поки різниця між двома останніми зважуваннями не перевищуватиме 0,5 мг (до сталої маси). Результати аналізу записують у таблицю.

№ розрізу	Глибина взяття зразків, см	№ бюкса	Вага порожнього бюкса, г	Вага бюкса з сирим ґрунтом, г	Вага бюкса з ґрунтом після просушування, г		a Кількість вологи у наважці ґрунту, г	m Вага сухого ґрунту, г	W Вологість, % (см)	Середнє значення
					після 1-ого	після 2-ого				
I	0–30	1								
		2								
		3								
II	30–60	4								
		5								
		6								
III	60–100	7								
		8								
		9								

Вологість ґрунту (**W**) обчислюють за формулою:

$$W = \frac{a \cdot 100}{m}$$

де **a** – вага води (г), яка випарувалась при висушуванні. Це різниця між вагою бюкса з ґрунтом до висушування (з сирим ґрунтом) і вагою бюкса з ґрунтом після висушування.

m — вага сухого ґрунту, г. Це різниця між вагою бюкса з ґрунтом після висушування і вагою порожнього бюкса.

100 – множник для перерахунку у відсотки.

Наприклад.

№ розрізу	Глибина взяття зразків, см	№ бюкса	Вага порожнього бюкса, г	Вага бюкса з сирим ґрунтом, г	Вага бюкса з ґрунтом після просушування, г		a Кількість вологи у наважці ґрунту, г	m Вага сухого ґрунту, г	W Вологість, % (см)	Середнє значення
					після 1-ого	після 2-ого				
I	0–30	1	30,7889	51,3042	46,7660	46,7604	4,5438	15,9715	28,4494	

$$a = 5,3042 \text{ г} - 46,7604 \text{ г} = 4,5438 \text{ г}$$

$$m = 46,7604 \text{ г} - 30,7889 \text{ г} = 15,9715 \text{ г}$$

$$W = \frac{4,5438 \cdot 100}{15,9715} = 28,45 \%$$

Визначення гігроскопічної вологи ґрунту

Гігроскопічна волога ґрунту (ГВ) — 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.

Гігроскопічну вологу визначають для того, щоб перерахувати результати аналізу ґрунту на масу сухого ґрунту.

Суть методу. Вміст вологи визначають у повітряно-сухому ґрунті після висушування у сушильній шафі або термостаті при 100–105°C до сталої маси.

Хід аналізу. Ґрунт, подрібнений і просіяний крізь сито з отворами 1 мм, розсипають тонким шаром на скло або плівку, розподіляють на квадрати і з кожного відбирають невелику кількість ґрунту в попередньо зважений і пронумерований бюкс.

- Для **суглинкових** ґрунтів середній зразок становить **5–10 г**, для **супіщаних і піщаних** — **10–15 г**.
- Бюкс закривають кришкою і зважують; потім відкривають і вміщують у сушильну шафу на 3 год. для висушування при 100–105°C.
- Після охолодження і зважування ґрунт знову ставлять у сушильну шафу на 1–2 год. і висушують до сталої маси. Результат аналізу записують у таблицю.

Горизонт та глибина взяття ґрунту, см	№ бюкса	Вага порожнього бюкса, г	Вага бюкса з повітряно-сухим ґрунтом, г	Наважка ґрунту, г	Вага бюкса з абсолютно сухим ґрунтом, г	a Вага гігроскопічної вологи, г	t Вага абсолютно сухого ґрунту, г	ГВ Гігроскопічна волога, %	середнє значення гігроскопічної вологи, %	коефіцієнт гігроскопії K_г
I 0-30	1									
	2									
II 30-60	3									
	4									
III 60-100	5									
	6									

Вміст гігроскопічної води ($ГВ$), у відсотках до сухої маси ґрунту, визначають за формулою для визначення польової вологості ґрунту:

$$ГВ = \frac{a \cdot 100}{m}$$

де a – вага води в масі ґрунту, взятого для аналізу, г;

m – вага абсолютно сухого ґрунту, г;

100 – множник для перерахунку у відсотки.

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 ($КГ$) — коефіцієнт перерахування на сухий ґрунт розраховують за формулою:

$$КГ = \frac{100}{100 - ГВ}$$

де $КГ$ – коефіцієнт гігроскопічності; $ГВ$ – гігроскопічна волога, %.

Визначення максимальної гігроскопічної вологи

Максимальна гігроскопічність (МГВ) — це найбільша кількість вологи, 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 торфах 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*.

Суть методу. 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 вологи 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 парою 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 сірчаноокислого калію, відносна пружність водяної пари над яким дорівнює 98 %.

Після насичення зразка ґрунту гігроскопічною вологою в ексикаторі при 99 % відносній вологості повітря, що досягається за допомогою розчину H_2SO_4 або K_2SO_4 (приблизно місяць) визначають вологість насиченого зразка термостатно-ваговим методом аналогічно гігроскопічній вологості.

Хід аналізу.

- У зважений алюмінієвий бюкс поміщають відважену на аналітичних терезах 10 г повітряно-сухого ґрунту, просіяного через сито з діаметром отворів 1 мм (торфу — 2 мм).
- Бюкс з відкритою кришкою поміщають в ексикатор, на дно якого наливають 10 % H_2SO_4 (з розрахунку 2 мл на 1 г ґрунту) або насичений розчин K_2SO_4 (100 г солі розчиняють у 1 л дистильованої води). Цей розчин створює в повітрі 99 % відносної вологості. Потім ексикатор ставлять у темне місце для зменшення коливання температури, можна також помістити ексикатор у теплоінерційний захист (ковдра,

пінопластова обгортка тощо). У цих умовах ґрунт повністю насичується гігроскопічною вологою, вага його збільшується.

- Бюкс з ґрунтом зважують (вперше через 5 діб, згідно ГОСТ 28268–89 — через 15 діб). Повторюють зважування доти, доки вага перестане збільшуватись (кожні 5 днів, якщо різниця мас при повторних зважуваннях не перевищуватиме 0,005 г).
- Після насичення визначають вологість насиченого зразка термостатно-ваговим методом аналогічно гігроскопічній вологості.

Горизонт та глибина взяття ґрунту, см	№ бюкса	Вага порожнього бюкса, г	Вага бюкса з повітряно-сухим ґрунтом, г _____ 202_	Вага бюкса з насиченим ґрунтом, г	Вага бюкса з просушеним ґрунтом, г	МГ, %	середнє значення МГ
I 0–30	7						
	8						
II 30–60	9						
	10						
III 60–100	11						
	12						

Різниця між вагою бюкса з ґрунтом після насичення і вагою бюкса з ґрунтом після висушування дає величину максимальної гігроскопічної вологи (МГ).

Вміст максимальної гігроскопічної вологи (МГ), у відсотках до сухої маси ґрунту, визначають за формулою для визначення польової вологості ґрунту:

$$МГ = \frac{a \cdot 100}{m}$$

де a – вага води в масі ґрунту, взятого для аналізу, г;

m – вага абсолютно сухого ґрунту, г;

100 – множник для перерахунку у відсотки.

Результати визначення максимальної гігроскопічної вологи (МГ) заносять у таблицю.

Максимальна гігроскопічна волога (МГ) використовується для розрахунку вологості в'янення (ВВ), яка потрібна при визначенні продуктивної вологи.

Визначення найменшої вологоємності

Найменша вологоємність (НВ) — 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 ґрунту, що добре дронується.

Хід роботи

1. Скляну трубку діаметром 30–40 мм з одного кінця обв'язують марлевою серветкою. Трубку заповнюють ґрунтовим матеріалом до відмітки 10–15 см. Для ущільнення матеріалу нижнім кінцем трубки злегка постукують по листовій гумі.
2. Закріплюють трубку з ґрунтом у штативі, під низ підставляють скляний стакан з дистильованою водою, витримують до повного насичення ґрунту вологою, після чого трубку з ґрунтом виймають із стакана з водою. Надлишкова вода при цьому вільно стікає крізь марлеву серветку у стакан.
3. Після того, як уся надлишкова вода стече, визначають вологість ґрунту за методикою визначення польової вологи.

Оцінка найменшої вологоємності ґрунту (за Н. Качинським)

Важкі за гранулометричним складом ґрунти		Легкі за гранулометричним складом ґрунти
Вологоємність, % від ваги сухого ґрунту	Оцінка	
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 %

РОЗРАХУНКОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМ ВОДИ У ҐРУНТІ

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ ВОЛОГОСТІ

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, або доступною, вологою називають кількість води, яка знаходиться в ґрунті зверху вологи в'янення. Рослини можуть нормально рости при вологості вищій, ніж вологість в'янення.

Для розрахунку (продуктивної) корисної вологи в ґрунті потрібно обчислити загальний запас вологи і запас важкодоступної вологи, яку розраховують за вмістом вологи стійкого в'янення рослин. Різниця між загальним запасом вологи і запасом важкодоступної вологи — це кількість продуктивної вологи в ґрунті.

Розраховують вміст *продуктивної вологи* у ґрунті за формулою (W_{np}):

$$W_{np} = W_z - W_{vv},$$

де W_{np} – вміст продуктивної вологи, мм;

W_z – загальний запас води у ґрунті на даний момент, мм;

W_{vv} – запас води у ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

Оцінку запасів продуктивної вологи подано в таблиці 5.

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, %; $W_{ДАВ}$, мм)*:

$$ДАВ = НВ - ВВ, W_{ДАВ} = W_{нв} - W_{vv},$$

де $ДАВ$ – діапазон активної вологи, %; $НВ$ – найменша вологоємність, %; $ВВ$ – вологість в'янення, %; W_{vv} – запас води у ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм; $W_{нв}$ – найменша вологоємність, мм.

Проте у діапазоні від вологості в'янення до найменшої вологоємності не вся волога 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:

$$ДВ = НВ - W,$$

де $ДВ$ – дефіцит вологи, %; $НВ$ – найменша вологоємність, %; W – польова вологість, %.

На практиці *дефіцит вологи окремих шарів* розраховують за формулою ($W_{ДВ}$):

$$W_{ДВ} = W_{нв} - W \cdot d \cdot h,$$

де $W_{ДВ}$ – дефіцит вологи, мм; $W_{нв}$ – найменша вологоємність, мм; W – польова вологість, %; d – щільність будови ґрунту, г/см³; h – потужність шару ґрунту, см.

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.

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

$$H_n = ДВ \cdot d \cdot h,$$

де H_n – норма поливу, т/га; $ДВ$ – дефіцит вологи, %; d – щільність будови ґрунту, г/см³; 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 і тоді сумують*

$$W_{np} = W_{np1} + W_{np2} + W_{np3} + \dots + W_{npi}$$

Приклад.

Вихідні дані:

Польова вологість ґрунту (W) – 17 %,

об'ємна маса ґрунту (d) – 1,3 г/см³,

$НВ$ – 28 % $ВВ$ – 12 %,

шар ґрунту (h) – 20 см.

Потрібно розрахувати: запаси вологи W_z , в м³/га та мм/га; запаси вологи, що відповідають вологості в'янення $W_{ВВ}$, мм/га; запас продуктивної вологи W_{np} , мм/га; діапазон активної вологи ($W_{ДАВ}$), мм; дефіцит вологи ($ДВ$); норму поливу H_n . Дати оцінку запасам продуктивної вологи згідно табл. 5, а також визначити тип клімату ґрунту згідно табл. 6.

Розв'язання:

1. $W_z, \text{ м}^3/\text{га} = h \cdot d \cdot W = 20 \times 1,3 \times 17 = 442 \text{ м}^3/\text{га}$

2. $W_z = W_z : 10 = 442 : 10 = 44,2 \text{ мм/га}$

3. $W_{ВВ} = 0,1 \cdot h \cdot d \cdot ВВ = 0,1 \times 1,3 \times 20 \times 12 = 31,2 \text{ мм/га}$

4. $W_{НВ} = 0,1 \cdot h \cdot d \cdot НВ = 0,1 \times 20 \times 1,3 \times 28 = 72,8 \text{ мм/га}$

5. $W_{np} = W_z - W_{ВВ} = 44,2 - 31,2 = 13,0 \text{ мм/га}$ — незадовільні запаси продуктивної вологи у 0–20 см шарі. Тип клімату ґрунту — недостатньо вологий

6. $W_{ДАВ} = W_{НВ} - W_{ВВ} = 72,8 - 31,2 = 41,6 \text{ мм/га}$

7. $ДВ = НВ - W = 28 - 17 = 11 \%$

8. $H_n = ДВ \cdot h \cdot d = 11 \times 20 \times 1,3 = 286 \text{ т/га} = 286 \text{ м}^3/\text{га}$

Оцінка запасів продуктивної вологи

Оцінка запасів продуктивної вологи	Запаси продуктивної вологи, мм
У шарі 0–20 см	
Добрі	> 40
Задовільні	20–40
Незадовільні	< 20
У шарі 0–100 см	
Дуже добрі	> 160
Добрі	160–130
Задовільні	130–90
Погані	90–60
Дуже погані	< 60

Кількість продуктивної вологи визначає тип клімату ґрунту у період вегетації рослин, який є провідним фактором їх продуктивності (табл. 6).

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

Розрахунок запасу продуктивної вологи

Продуктивною, або доступною, вологою називають кількість води, яка знаходиться в ґрунті зверху вологи в'янення. Рослини можуть нормально рости при вологості вищій, ніж вологість в'янення.

Розраховують вміст *продуктивної вологи* у ґрунті за формулою (W_{np}):

$$W_{np} = W_z - W_{vv},$$

де W_{np} – вміст продуктивної вологи, мм;

W_z – загальний запас води у ґрунті на даний момент, мм;

W_{vv} – запас води у ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

Приклад

Розрахувати запас продуктивної вологи у шарі 0–100 см при загальному запасі вологи (W_z) 313,4 мм і запасі недоступної вологи (W_{vv}) 137,86 мм.

Розв'язання:

Запас продуктивної вологи (W_{np}) у шарі 0–100 см (згідно формули) становить:

$$W_{np} = 313,4 - 137,86 = 175,54 \text{ мм} \approx \mathbf{176 \text{ мм}}.$$

Запаси продуктивної вологи у 0–100 см шарі ґрунту (табл. 5) дуже добрі.

Тип клімату ґрунту (табл. 6) — вологий.

Розрахунок запасу вологи в ґрунті

Запас вологи в ґрунті — це абсолютна кількість вологи, яка міститься у певному шарі ґрунту, виражена в тоннах на гектар ($\text{м}^3/\text{га}$) або в міліметрах водяного шару.

Загальний запас води в певному шарі ґрунту визначають *за даними польової вологості* (у відсотках до сухої маси) і маси сухого ґрунту цього шару на 1 га. Процентний вміст вологи чисельно дорівнює кількості води (W) в 100 т ґрунту. У масі всього сухого ґрунту досліджуваного шару (P) запас води (W_3) становить, т/га:

$$(1) W_3 = \frac{W \cdot P}{100}$$

Якщо масу сухого ґрунту подати через її об'єм та об'ємну масу, то запас води (W_3) становитиме, т/га ($\text{м}^3/\text{га}$):

$$(2) W_3 = \frac{W \cdot V \cdot d}{100}$$

де W – вологість ґрунту, у відсотках на суху масу;

V – об'єм ґрунту, м^3 ;

d – об'ємна маса ґрунту, $\text{г}/\text{см}^3$.

Об'єм ґрунту з 1 га певного шару дорівнюватиме площі, помноженій на глибину ($V = 10000 \text{ м}^2 \cdot h_{\text{м}}$). Підставивши цей вираз у формулу (2) матимемо:

$$(3) W_3 = \frac{W \cdot 10000 \cdot h \cdot d}{100} = W \cdot h \cdot d \cdot 100,$$

де h – глибина досліджуваного шару ґрунту, м

Якщо глибину шару ґрунту подати в сантиметрах, то з формули (3) випаде множник 100.

Загальний запас води в ґрунті (W_3), в тоннах на гектар ($\text{м}^3/\text{га}$), для певного шару обчислюють за формулою:

$$(4) W_3 = W \cdot h \cdot d.$$

При визначенні запасу вологи в ґрунті (W_3), в міліметрах водяного шару, виходять з того, що **1 мм** водяного шару відповідає **10 м^3 води на 1 га**. Розрахунки виконують за формулою:

$$(5) W_3 = \frac{W \cdot h \cdot d}{10}$$

Тобто запас вологи, в тоннах на гектар, ділять на 10.

Запас вологи в певній товщі ґрунту, становить суму кількості вологи в різних шарах профілю ґрунту.

Приклад

Розрахувати запас води в шарі ґрунту 0–100 см, врахувавши такі дані по шарах відбору (I–III):

- I — **0–30 см** з об'ємною масою $d_I = 1,17 \text{ г/см}^3$ і вологістю **28,32 %**;
- II — **30–60 см** з об'ємною масою $d_{II} = 1,20 \text{ г/см}^3$ і вологістю **26,86 %**;
- III — **60–100 см** з об'ємною масою $d_{III} = 1,25 \text{ г/см}^3$ і вологістю **23,45 %**.

Розв'язання:

Запас води в шарах ґрунту згідно формул (4) і (5) становить:

0–30 см: $W_{зI} = 28,32 \cdot 1,17 \cdot 30 = 994,032 \text{ т/га (м}^3\text{/га)}$ або **99,4 мм** водяного шару.

30–60 см: $W_{зII} = 26,86 \cdot 1,20 \cdot 30 = 966,96 \text{ т/га (м}^3\text{/га)}$ або **96,7 мм** водяного шару.

60–100 см: $W_{зIII} = 23,45 \cdot 1,25 \cdot 40 = 1172,5 \text{ т/га (м}^3\text{/га)}$ або **117,3 мм** водяного шару.

Тоді запас води у ґрунті в шарі 0–100 см:

$$W_z = 99,4 + 96,7 + 117,3 = 313,4 \text{ мм.}$$

Розрахунок запасу недоступної вологи (вологість 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.

Наявність 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 парою 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 торфах перевищує 50 % від маси сухого ґрунту (табл. 7).

Таблиця 7

Вологість в'янення ґрунтів різного гранулометричного складу і торфів (за С. А. Веріго, 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 прямі (експериментальні) методи визначення (метод вегетаційних мініатюр, польові методи), так і розрахункові (за максимальною гігроскопічністю).

Вологість в'янення рослин розраховують як добуток величини максимальної гігроскопічності на коефіцієнт в'янення (K) (для важких ґрунтів 1,50 і більше, для середніх — 1,34, для легших — 1,25):

$$ВВ = K \cdot МГ,$$

де $МГ$ — максимальна гігроскопічна волога.

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.

За даними вологості в'янення, використовуючи формулу (5), можна обчислити запас води, що відповідає вологості в'янення.

Приклад

Розрахувати запас недоступної води (води в'янення) у ґрунті в шарі 0–100 см, врахувавши такі дані по шарах відбору (I–III):

I — 0–30 см з об'ємною масою $d_I = 1,17 \text{ г/см}^3$ і $МГ_I = 7,5314 \%$;

II — 30–60 см з об'ємною масою $d_{II} = 1,20 \text{ г/см}^3$ і $МГ_{II} = 7,9532 \%$;

III — 60–100 см з об'ємною масою $d_{III} = 1,25 \text{ г/см}^3$ і $МГ_{III} = 7,3677 \%$;

Розв'язання:

Спочатку розрахуємо вологість в'янення у трьох шарах ($ВВ$) ($K=1,5$):

$$ВВ_I = 1,5 \cdot 7,5314 = 11,2971 \%$$

$$ВВ_{II} = 1,5 \cdot 7,9532 = 11,9298 \%$$

$$ВВ_{III} = 1,5 \cdot 7,3677 = 11,05155 \%$$

За формулами (4) і (5) розрахуємо запас недоступної води ($W_{ев}$) в даних шарах ґрунту:

$$W_{ев I} = 11,2971 \cdot 1,17 \cdot 30 = 396,5 \text{ т/га або } 39,65 \text{ мм}$$

$$W_{ев II} = 11,9298 \cdot 1,20 \cdot 30 = 429,47 \text{ т/га або } 42,95 \text{ мм}$$

$$W_{ев III} = 11,05155 \cdot 1,25 \cdot 40 = 552,5775 \text{ т/га або } 55,26 \text{ мм}$$

Тоді запас недоступної води у ґрунті в шарі 0–100 см дорівнює сумі недоступних вод у трьох шарах (0–30 см, 30–60 см, 60–100 см):

$$W_{ев} = 39,65 + 42,95 + 55,26 = 137,86 \text{ мм.}$$

ПРОДУКТИВНА ВОЛОГА В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Продуктивна волога — один із вирішальних факторів, що визначає рівень урожайності сільськогосподарських культур. Тому при обчисленні потенційної врожайності на її запаси зважають насамперед. Використання мінеральних добрив ніколи не забезпечить планової врожайності за незадовільного рівня вологи.

Таким прикладом є визначення запасів продуктивної вологи на період відновлення вегетації пшениці озимої. Планова врожайність за агрохімічною характеристикою становила 8 т/га, але з урахуванням запасів продуктивної вологи потенційна врожайність не перевищувала 6,5 т/га.

Економічно недоцільно вносити повні норми азотних добрив (N_{40}) у фазу кущення. Це не матиме позитивного ефекту та економічної рентабельності. Рекомендованою нормою для підживлення є N_{25-30} . Аналогічну корекцію норм удобрення варто провести й у фазу виходу у трубку.

Запаси продуктивної вологи в метровому шарі під пшеницею озимою

Шар ґрунту	Відновлення вегетації	Забезпеченість вологою	Планова врожайність, т/га	Потенційна врожайність, т/га
0–20	22,1	задовільна		
20–40	17,6			
40–60	13,8			
60–80	15,6		8	6,5
80–100	18,6			
0–100	87,7	низька		

Такі приклади корегування мінерального удобрення можна навести й щодо вирощування соняшнику. З'ясування запасів продуктивної вологи є найбільш актуальним при вирощуванні кукурудзи.

Економія запланованих витрат сягає 15–20 %.

Визначення запасів продуктивної вологи дасть можливість:

- установити оптимальний час для посіву,
- прийняти правильні рішення щодо обробітку ґрунту,
- вчасно провести заходи щодо збереження вологості.

*При 5 мм продуктивних запасів води в орному шарі ґрунту сходи зернових не з'являються зовсім, при 10–15 мм вони часто бувають зрідженими на 30–50 %. **Оптимальними є запаси 25–30 мм.***

Оскільки вода є головним розчинником елементів живлення в ґрунті, то від вологості ґрунту також залежать:

- прогнозування строків мінерального удобрення,
- актуалізація норм добрив
- прогноз щодо ґрунтових підживлень.

Ефективність мінерального удобрення на 90 % залежить від запасів води.

Відповідно, мінеральне живлення економічно доцільно коригувати, виходячи із запасів води.

При зволоженні ґрунту менш як на 10 і більш як на 90 % азотне підживлення навіть шкідливе, адже призводить до зниження протеїну.



ШВИДКІСТЬ ВТРАТИ ВОЛОГИ

Швидкість втрати вологи залежить від кількох чинників:

– **Погодні умови:**

- висока температура,
- низька атмосферна вологість,
- вітер.

– **Обмолочена культура.**

Здатність підіймати вологу в стерні зернових сильніша, аніж у ріпаку та соняшнику.

– **Кількість пожнивних решток та рівномірність їх розподілу.**

Озима пшениця врожайністю 6 т залишить після себе 3 т кореневої системи та стерні й 3 т соломи. Це 300 г соломи на кожному квадратному метрі. Чи вистачить цього, щоб захистити поле? Та ще й за ненайкращого розподілу.

– **Тип ґрунту.**

Важкі ґрунти, в яких більшу частку займає глина та мул, матимуть більше водних капілярів та більшу швидкість втрати ґрунтової вологи.

ЯК ЗБЕРЕГТИ ВОЛОГУ?

1. **Снігозатримання** — один із найбільш відомих методів накопичення вологи у зимовий період, над яким все частіше починають задумуватись господарники (рис. 27).



Рис. 27. Снігозатримання.

2. **Покращення природної структурності ґрунту** (визначає здатність утримувати вологу, формується рівнем гумусу та кислотністю).

Вплинути на неї можна за допомогою бездефіцитної системи підживлення, внесення органічних добрив, менеджменту пожнивних решток (жодного спалювання соломи!), застосування сидератів та вапнування ґрунтів.

- **Кальцій (Ca)**, внесений із меліорантом (рис. 28), сприяє утворенню ґрунтових колоїдів, **поліпшенню структури ґрунту**, підвищує його водостійкість. Після вапнування покращується його водний і повітряний режими та обробіток ґрунтів важкого гранулометричного складу після дощу, на поверхні рідше утворюється кірка, посилюється життєдіяльність мікроорганізмів і мобілізація ними азоту, фосфору та інших елементів живлення з органічних речовин ґрунту.



Рис. 28. Вапнування полів.

- **Збагачення ґрунту органікою** (рис. 29), яка одночасно є вихідним матеріалом для побудови зернистої водостійкої структури — один з істотних факторів у боротьбі з посухою. *Здатність органічної частини ґрунту утримувати воду у 2,5–3 рази вища, ніж у мінеральної.*



Рис. 29. Внесення органічних добрив.

- **Сидерати** (рис. 30) є реальним і найменш затратним методом розв'язання питання відновлення природної структури ґрунту. Багатогранний позитив від сидератів — підвищення біологічної активності, розпушення підорного шару, зниження кислотності, відбивання сонячного проміння, запобігання перегріванню землі тощо.



Рис. 30. Посіви сидератів.

- Вирощування **ґрунтопокривних культур** (редьки, гірчиці), які очищують ґрунт від нематод, дротяників та патогенних мікроорганізмів, збагачують землю комплексом корисних речовин і є антагоністами злісному пірію. Вони зменшують ерозію ґрунту внаслідок сильних дощів і повеней, допомагають краще утримувати вологу в ґрунті під час посухи.

3. Сівозміна

Враховуючи біологічні особливості й здатність польових культур не тільки використовувати, а й активно відновлювати родючість ґрунту, сівозміна істотно впливає на такі фактори як родючість, забезпеченість поживними речовинами й вологою, вміст гумусу, біологічний режим та фізичні властивості.

- Родючість ґрунту тісно пов'язана з вмістом гумусу. Для його оптимізації варто включити у сівозміну **багаторічні трави** (10 %) та бобові культури (до 20–25 %) (рис. 31).



Рис. 31. Посіви багаторічних трав.

- Не потрібно забувати, що **культури з стрижневою кореневою системою** (як у соняшнику чи сої), або перехідною (як у кукурудзи) в значній мірі **висушують ґрунт**. Культури з глибокою кореневою системою (соняшник, ріпак, кукурудза, цукрові буряки) користуються вологою з глибини понад 1,5 м. У цьому шарі волога відновлюється за 4–6 років.
- А ще потрібно врахувати, що це **культури, які пізно збираються**, і період між збиранням попередника і сівбою дуже короткий, і за цей час у ГВК не накопичується достатньо ні води, ні елементів живлення.
В той же час після таких попередників, як горох або ріпак, пшениця почувається більш-менш нормально.
- Після збирання попередника поле може **парувати**, накопичити вологу і доступні елементи живлення. Проте пар також потрібно розумно використовувати, прорахувати економічну доцільність і розумно працювати. Є пари, які заростають бур'янами.
- Як варіант, можна **переходити на культури, які раніше збираються**. Наприклад, горох, хоча ціна його низька, врожайність невисока. Але якщо брати ланку сівозміни у 2 роки, то урожай гороху, а потім урожай пшениці після гороху повністю себе окуплять. Але люди рахують лише однорічну вигоду, що неправильно.
Непоганий був би попередник під пшеницю **озимий ріпак**, але ріпак у зв'язку з погодними умовами не завжди вдається вчасно посіяти та потім отримати нормальні сходи.

Навіть можна ранньостиглу сою також, яка збирається на початку серпня. Тоді період до сівби пшениці 2 місяці, за цей час накопичується певна кількість вологи, елементів живлення.

Або гречка непоганий попередник — збирається рано, розчиняє в ґрунті і накопичує в ГВК доступні елементи живлення, хоча ціна її невисока, культура потребує уваги, знання нюансів системи удобрення. Але якщо рахувати не на рік, а на два, вигащ суттєвий.

- Перейти по максимуму на **рослини з мичкуватою кореневою системою**. Рослини з мичкуватою системою продуктивно використовують вологу опадів.

4. Поліпшення механічної структури ґрунту

Боротьба із шкідливим ущільненням ґрунту

Повноцінний глибокий обробіток на зяб збільшує кількість повітряних пор та здатність ґрунту до акумуляції вологи. Попередження та *боротьба зі шкідливим ущільненням допомагає утримувати капілярний зв'язок* із нижчими шарами ґрунту. Особливо це важливо на схилах, де ущільнення можуть стати причиною затримки води на поверхні та змивів верхнього шару. Води, що стекла, вистачило б на формування 1,5–2 т зерна.

Відмова від оранки й використання лише глибокого рихлення

Завдяки цьому способу не буде утворюватись ущільнена плужна підшва (що сприятиме розвитку кореневої системи і уникненню застою вологи в поверхневих шарах), оскільки ґрунт матиме стабільну структуру без оберненого пласту землі з залишками рослинних решток на поверхні. Волога буде накопичуватись та зберігатись, а рівень випаровування значно знизиться.

Технології No-till, strip-till

Це технології, які мають право на існування, особливо для рослин з мичкуватою кореневою системою, які не потребують глибокорозпушування. Наприклад, кукурудза по no-till непогано показала себе там де ґрунт не пересушили. *Технологія no-till ефективна за умов дефіциту вологи*. Потрібно кожний раз підходити творчо, не зациклюватись на звичній технології.

За no-till технології ґрунт не ореться, а спеціально подрібнені рештки рослин, мульча, шаром повинні вкривати поля. Оскільки верхній шар ґрунту не пошкоджується, така система землеробства запобігає водній та вітровій ерозії ґрунтів, а також значно краще зберігає воду. Завдяки цьому нульовий обробіток найдоцільніше застосовувати у посушливих регіонах, а також в умовах із надмірними опадами на полях, розміщених на схилах.

Більшість вирощуваних культур чудово почувають себе при вирощуванні по технології no-till (рис. 32) за винятком цукрового буряка і картоплі.

Завдяки такій технології у ґрунті:

- Збільшується вміст органічних речовин, азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, а також підвищується поглинаюча ємність ґрунту.
- Покращується структура ґрунту, підвищується його інфільтраційна здатність, збільшується кількість вологи та зростає міцність ґрунтових агрегатів.
За 1–2 роки ущільнення, створене механічними знаряддями, зникне само собою під впливом морозів, біоти та кореневої системи рослин.
- Зростає чисельність ґрунтової біоти — мікроорганізмів, земляних черв'яків, членистоногих (комах, акарид), а також грибів та мікориз.

Не зважаючи на те, що врожайність за цієї технології часом дещо нижча, ніж за умов традиційного землеробства, проте такий обробіток землі вимагає значно менших витрат праці та пального.

Нульовий обробіток ґрунту є сучасною, досить складною системою землеробства, яка вимагає:

- спеціальної техніки;
- дотримання технологій.

За впровадження системи нульового обробітку ґрунту головним є обмеження шкідливості бур'янів у посівах культур.

Основою системи контролю бур'янів за застосування технології no-till є сівозміна, що включає культури з різною тривалістю вегетаційного періоду.



Рис. 32. Використання системи no-till на посівах сої.

Операції зі збереження вологи:

- закриття вологи весною,
- штригелювання (обробіток легкою пружинною бороною) культурних рослин до закриття міжрядь,
- посів із малим міжряддям, щоб закриття відбулося раніше,
- луцення стерні одразу за комбайном.

Для збереження вологи слід використовувати правильні прийоми обробки землі, мінімізувати технологічні операції, що дозволить максимально накопичувати вологу в ґрунті. Не слід нехтувати й новими, а може добре забути старими технологіями.

Поле можна вирівнювати з осені, паралельно вносячи добрива, а навесні боронувати не глибше 5 см. При необхідності культивування, його здійснюють на мінімальній глибині — 4–5 см. У період вегетації можна працювати ротаційними боронами. Головне завдання — переривати капіляри, щоб волога йшла в ґрунт лише шляхом транспірації (випаровування води з поверхні рослин, що відбувається через продиhi та кутикулу).

Практикувати комбінований безвідвально-мінімальний обробіток ґрунту, що передбачає зменшення глибини й кількості обробок за рахунок суміщення операцій, здійснюваних в одному робочому процесі. Його здійснюють на різну глибину, залежно від ситуації, без обороту пласта за допомогою диско-лапових агрегатів.

Добирають агрегати, які *поєднують кілька операцій* — дискування і глибоке рихлення за один прохід. Такий технологічний підхід дає змогу знизити ущільнення та підвищити «дихання ґрунту», а також в разі збільшити у ньому кількість дощових черв'яків та поліпшити утримання вологи.

Передпосівний обробіток. До нього потрібно підходити якомога обережніше. Якщо в господарстві немає хорошої ротаційної борони, потрібно подбати про це (рис. 33).

«Іжачками», які виступають робочими органами у цього агрегату, можна непогано підготувати поверхню поля і у багатьох випадках — відразу сіяти після цього, якщо поле нормально доглядалося раніше. Ротаційна борона дасть змогу *перебити крупні грудки на поверхні*, розрихлити верхній шар ґрунту на глибину до 4–5 см і *додатково подрібнити пожнивні рештки*.

При цьому якісна ротаційна борона працює у максимально вологозберігаючому режимі і що важливо — *знищить проростки бур'янів*, які, як відомо, починають проростати набагато раніше у порівнянні з культурними рослинами. Це дасть змогу не лише оптимізувати гербіцидний захист посівів, але й відібрати вологу у бур'янів на самому початку проростання насіння.

До того ж, ротаційна борона не потребує високої потужності у розрахунку на метр захвату агрегату, що забезпечить її високу продуктивність.



Рис. 33. Використання ротаційної борони.

Луцання стерні одразу за комбайном. До обмолоту травостій формує захисний шар, що перешкоджає перегріву ґрунту. Комбайн забирає цей захист. Пожнивних решток (навіть за якісного подрібнення та розподілення) зазвичай не достатньо для формування повноцінного захисного шару. За час вегетації у ґрунті утворюється велика кількість капілярів, що, як насос, підіймають вологу з глибших шарів до самої поверхні, де вона випаровується. Додатковим «насосом» є коренева система рослин. Саму рослину зрізали, але коренева система та стерня насичені капілярами і продовжують підіймати воду. *З нагрітої поверхні поля втрачається волога зі швидкістю в тонни за годину.*

За результатами одного з дослідів, наведених у Landwirtschaftlicher Pflanzenbau BLV Buchverlag GmbH & Co. KG 2014, за одну годину між обмолотом та луцанням стерні з кожного гектара поля було втрачено вологи стільки, скільки б вистачило на формування 50 кг пшениці. Звичайно, швидкість втрати вологи буде залежати від конкретних умов, які склалися на полі, проте варто розуміти, що за луцання слідом за комбайном йдеться не про тижні чи дні, тут ***все вирішують години.***

Щоб не втрачати вологу, одразу за обмолотом слід провести луцання стерні (рис. 34). Добова продуктивність дискової борони має бути не меншою за продуктивність обмолоту. Тільки так можна організувати луцання з

мінімальним відривом від комбайна. Лушення має забезпечувати рівне підґрунтя — це гарантія того, що при неглибокому обробітку (5–7 см) буде оброблено поле по всій робочій ширині та підрізано 100 % стерні, зруйновано ґрунтові капіляри та капіляри кореневої системи.



Рис. 34. Лушення стерні.

Суміш соломи з ґрунтом виконуватиме роль захисного шару, що не допустить перегрівання та втрати вологи. Знаряддя для лушення стерні має бути оснащене котком, адже зворотне ущільнення попереджує водну та вітрову ерозію.

5. Мульчування

Доведено, що волога випаровується з ґрунту безперервно. Це обумовлено тим, що щільність водяної пари складає 0,662 щільності повітря, тому насичене вологою повітря піднімається вгору як більш легке.

Щоб затримати його, потрібно підтримувати поверхневий шар ґрунту в розпушеному і вирівняному вигляді, покращувати його будову і структуру, проводити мульчування і вносити органічні добрива.

Серед переваг мульчування слід відзначити той факт, що при використанні мульчі з пухких матеріалів (торф, тирса) зменшується кількість бур'янів, а мульча з щільних матеріалів (мульчбумага, непрозора плівка, агроволокно) майже повністю пригнічує їх ріст.

Крім того, органічна мульча (солома, торф, перегній та ін.) виділяє в приземний шар атмосфери вуглекислий газ, а після оранки становиться добривом і покращує фізичні властивості ґрунту. Плюс в ґрунті

активізуються мікробіологічні процеси, завдяки яким збільшується кількість нітратів.

На сьогоднішній день в аграрно розвинених країнах використовують вісім видів синтетичних мульчуючих покриттів: *прозоре, чорне, біле, жовте, чорно-біле, срібне, термально-коричневе і гербіцидно-зелене*. Знаючи особливості кожного, завжди можна вибрати варіант, дозволяючи створити оптимальні умови для вирощування конкретної культури — овочевої, баштанної, картоплі, суниці та ін.

6. Регулювання густоти посівів рослин

Від густоти посівів залежить чи вистачить вологи для росту та гарного врожаю рослинам.

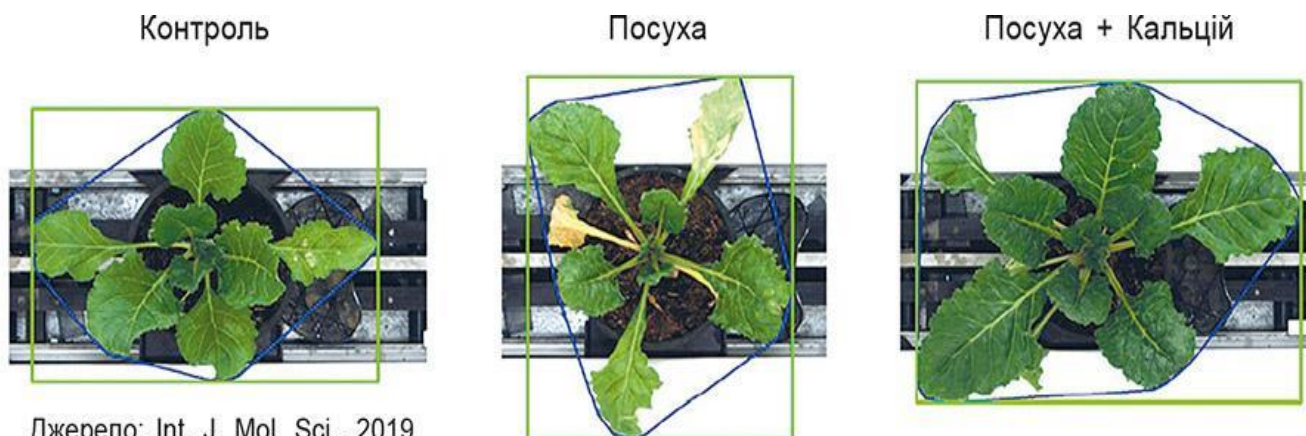
7. Застосування препаратів за участі пектинів та амінокислот

Пектини входять до складу рослинних клітин у вигляді біополімерів за участю солей кальцію, магнію та натрію. Разом з іншими компонентами клітинних стінок рослин вони забезпечують їхню міцність і еластичність, оберігають рослини від висихання, забезпечують посухостійкість і морозостійкість, виконують захисну роль рослин у взаєминах з фітопатогенами, сприяють ліквідації пошкоджень та виходу рослини зі стану стресу.

8. Листкове застосування сполук кальцію (Ca)

Встановлено, що їх застосування сприяє приросту біомаси (рис. 35) та збільшенню вмісту хлорофілу в умовах посухи.

Іони Ca^{2+} знижують негативну дію високих температур за рахунок **регуляції прอดихів та індукції білків теплового шоку** (БТШ), що допомагає рослині переносити тривалий вплив посухи. Крім того, підвищується вміст цукру в коренеплодах завдяки регуляції транскрипційних генів, що беруть участь у транспорті сахарози.



Джерело: Int. J. Mol. Sci., 2019

Рис. 35. Вплив позакореневого застосування кальцію на приріст біомаси цукрових буряків.

Іони кальцію *підвищують в'язкість цитоплазми*, збільшують силу зчеплення її з клітинною стінкою, що дає змогу зберігати вологу в клітинах. Досліди пакистанських вчених довели, що позакореневе застосування кальцію сприяло зниженню втрати води на 18 % у рослинах кукурудзи, вирощених в умовах посухи.

Італійські науковці, досліджуючи вплив карбонату кальцію на фізіологічні зміни у рослин томату за різних умов зрошення, встановили *зниження інтенсивності випаровування води* у оброблених рослин на 45–58% порівняно з необробленими (контроль). Температура листової поверхні у оброблених рослин виявилась у середньому на 1,0°C нижчою, ніж на контролі. Це підтверджується дослідженнями французьких вчених, які спостерігали «охолоджуючий» ефект від фоліарного застосування кальцію в насадженнях винограду.

Тривалість надходження іонів кальцію всередину клітини впродовж перших хвилин після підвищення температури визначає її відповідь на посуху. За короткочасного надходження іонів Ca^{2+} до рослинних клітин синтезуються БТШ та підвищується їхня посухостійкість, за тривалого — рослини гинуть. Повідомляється, що іони кальцію активують фермент аденозинтрифосфатазу (АТФ-аза), необхідний рослинам для перекачування поживних речовин, втрачених внаслідок посухи.

9. Використання зрошувальних систем

Зрошування (іригація) є одним з найбільш біологічно й економічно ефективних способів боротьби з посухою. У світовому землеробстві зрошуваних земель більше ніж 80 млн га. Відомо, що максимальний урожай більшості видів культурних рослин забезпечується за вологості ґрунту 70–80 % від повної вологоємності.

На зрошування витрачається багато води. Це само по собі обмежує можливості іригації. *Вона ефективна тільки для полів, що знаходяться поблизу великих річок або водосховищ.*

Важливим є і *підбір культур*, чутливих щодо зрошування. Це кукурудза на зерно, картопля, цукровий буряк та ін. Зернові колосові культури за сучасними технологіями на зрошуваних землях вирощувати економічно не вигідно.

Важливою проблемою зрошуваного землеробства є *якість поливної води*. Вона має бути не засоленою, а також вільною від насіння бур'янів. Але ці вимоги далеко не завжди виконуються.

Багато побічних несприятливих наслідків зрошування відпадають або будуть більш м'якими при *правильному підборі його типу*. Основними з них є такі:

- а) *поверхневий*, включаючи некероване затоплення, полив по борознах або напуском, чековий полив або по пристовбурових кругах (рис. 36);
- б) полив через систему закладених в ґрунт *водоводів*;



Рис. 36. Поверхнєве зрошення.

в) *дощування* з використанням установок, що імітують випадання дощу (рис. 37);



Рис. 37. Полив дощуванням.

г) *крапельний*, коли вода подається малими порціями безпосередньо в зону корневих систем, що дозволяє більш продуктивно використовувати воду (рис. 38).



Рис. 38. Крапельний полив.

Істотне значення в зрошуваному землеробстві має *вибір сорту*. Вони повинні відрізнятися високою інтенсивністю транспірації, не вилягати, мати підвищену стійкість до інфекцій. По суті, селекціонери повинні пропонувати для зрошуваного землеробства спеціально створені сорти.

Поливне землеробство дозволяє ефективніше використовувати мінеральні добрива. У цілому, зрошування є одним з найефективніших способів оптимізації водного режиму рослин. Однак воно вимагає від фахівців великих наукових знань і високої фахової компетентності.

ЯК ЗНИЗИТИ РИЗИКИ ВІД МОЖЛИВИХ НЕСПРИЯТЛИВИХ УМОВ?

Якісне насіння

Це завжди запорука гарного врожаю. Але в умовах, коли наш клімат стає більш континентальним, відбувається швидший перехід від зими до літа, спостерігається дефіцит вологи в ґрунті, — на час сівби дуже важливою стає така характеристика, як енергія появи сходів.

За сприятливих погодних умов іноземні сорти виграють, а за екстремальних, краще вітчизняні. Непогано одеська селекція себе зарекомендувала, також сорти Донецької дослідної станції. На Південь з іноземними сортами не варто йти взагалі. Вітчизняні сорти пристосовані до наших посушливих умов більше.

Норми висіву

Тенденція у кліматичних змінах каже нам: вологи тепер не вистачатиме. Отже, рослинам доведеться конкурувати за неї. Тому загушення посівів у підсумку може лише нашкодити.

Терміни сівби

Для південних і центральних областей терміни сівби мають бути більш ранніми. Уникнути спеки в період цвітіння можливо саме ранніми строками сівби, що забезпечує більш повне і якісне запилення і запліднення до настання періоду високих температур. Проте при визначенні терміну сівби необхідно пам'ятати про біологічні вимоги культури. Особливо важливий фактор температури у північних областях. При цьому, потрібно брати до уваги холодостійкість гібридів — з урахуванням, зокрема, і можливого коливання весняних температур.

Скоростиглість рослин

Експерти зазначають, що для зниження ризиків не варто обмежуватись гібридами з одною або близькою скоростиглістю, краще «урізноманітнити» їх спектр. А ще краще зробити акцент на ранньостиглі — тоді більше гарантій, що навіть за дефіциту вологи рослинам вистачить для більш-менш нормальної вегетації та формування врожаю.

Системи живлення

Якщо вологи немає, то посилене удобрення не допоможе. Тож краще не вносити занадто великі дози добрив, або вносити дробно. Практика засвідчила, що дробне внесення краще впливає на кінцеву врожайність, а крім того, дає змогу більш ефективно використовувати добрива — обираючи оптимальні норми відповідно до наявності вологи на момент внесення та стану рослин.

Вносити добрива потрібно, але заздалегідь. Наприклад, думати наперед на 2 роки. Вносити, скажімо, важкорозчинні добрива, які будуть працювати 2–3 роки, тобто під наступну культуру вже добрива вносити не потрібно, бо вони є в ГВК в доступній формі. Тобто, ви внесли під соняшник достатню кількість, маєте запас на наступний рік. *Або вносити потрібно легкорозчинні добрива, які розчиняються і працюють за мінімальної кількості вологи. Це рідкі добрива.*

Не варто зловживати внесенням гранульованих мінеральних добрив. Якщо є технічна можливість, то тверді азотні добрива, такі як карбамід і селітра, потрібно замінити *КАС* (рис. 39). В іншому разі, на фоні нестачі вологи, слід мінімізувати розкидання гранул чи внести їх припосівним способом.



Рис. 39. Внесення азотного добрива КАС.

По-перше, *гранульовані добрива* у сухому ґрунті *додатково вбирають вологу, відбираючи її у рослин*, і не даючи нічого натомість.

По-друге, *азот «насухо» справляє пригнічуючу токсичну дію* на молоді сходи. Тому, якщо ми звикли давати, наприклад, 100 кг карбаміду під соняшник, то краще знизити цю норму удвічі. Нестачу азоту та інших елементів живлення доведеться компенсувати тоді у міжряддях чи додавати у бакових сумішах, після того, як випадуть опади. Якщо ж дощів навесні не буде, то сухі добрива вносити сенсу немає...

При цих погодних умовах, на цих ґрунтах, де слаба пожива, де бідні ґрунти, азот в будь-якому разі потрібно вносити. В першу чергу сульфат амонію ($(NH_4)_2SO_4$) (рис. 40). Він не промивається, фіксується на ґрунтових колоїдах, потім частину його забирає рослина, бо амонійну форму рослина краще забирає, ніж нітратну.

Нітратна під впливом вологи заходить до рослини, тоді як амонійна під впливом електронних зв'язків.

При цих умовах дуже важливою є **сірка (S)**.

У посушливі роки внесення цього елемента значно підвищує врожайність.

Сульфат амонію дуже важливо вносити для старту.

Але, оскільки дане добриво є фізіологічно кислим (підкислює ґрунт), вносити його необхідно тільки на нейтральних і близьких до нейтральних ґрунтах.



Рис. 40. Сульфат амонію гранульований.

Використання бактеріальних та мікоризних препаратів

Ріст та розвиток рослин тісно пов'язаний з бактеріями, які відповідають за створення життєдайного середовища та допомагають їм виживати. Бактерія співпрацює з рослиною, щоб допомогти їй продовжувати розвиток під час сухої погоди, вона, по суті, буде для себе кращий дім.

У рослин є гормони, які допомагають їм вирішити, як витратити енергію. Мікроби можуть маніпулювати цією системою і спричинити зміни у процесі прийняття рішень. Ці мікроби можуть впливати на гормони рослини, щоб стимулювати ріст коренів, що допоможе рослині дістати більше води.

З мікоризою рослини ніколи не зазнають водного голодування. **Мікориза** — **потужний «насос» для рослин**, вона не тільки подає їм воду з глибших шарів ґрунту, а й живить рослини. Також вона в разі підвищує поглинання не лише відносно нерухомих іонів із ґрунту, тих же фосфору, калію, кальцію, магнію, сірки, цинку, міді, заліза, а й посиленого поглинання і транспорту значно рухоміших іонів азоту, особливо за умов посухи. Площа поглинаючої поверхні мікоризоутворюючих грибів у 100 разів перевищує поглинаючу поверхню кореня рослини. Гриби отримують від рослин продукти фотосинтезу для свого розвитку, а взаємін віддають воду і перетворені в доступну форму поживні речовини.

Боротьба з бур'янами

Поряд з цим ми повинні подбати про чистоту поля від небажаної рослинності. Бур'яни спроможні відібрати залишки продуктивної вологи у культурних рослин, навіть в тому разі, якщо вдасться вгадати з оптимальними строками сівби.

Тому варто провести дворазовий ротаційний обробіток поля — до і після сівби, — а також внести по-справжньому якісний гербіцид. Після появи сходів незайве буде провести легкий міжрядний обробіток у тому разі, якщо гербіцид погано спрацює у сухому ґрунті.

В нас поля позаростали берізкою, її коренева система має 20 м. Той самий пирій також бере близько 1100 мл вологи на формування 1 г сухої маси, так само й осоти, в той час як пшениця лише 480 мл. Горох потребує на формування 1 г сухої маси 700 мл вологи, а амброзія 1100 мл. Тут комплексне питання.

Атмосферна волога

В атмосфері планети у вигляді пари міститься приблизно 14 тисяч кубічних кілометрів води. То чому б не взяти відсутню воду з атмосфери? Кілька років тому ізраїльський пенсіонер Аркадій Левін винайшов чудо-трубу, яка дозволяє отримувати *від 100 до 500 літрів води на добу, просто з повітря*. Конструкція представляє собою 12-метрову трубу, близько метра в діаметрі, всередині якої знаходиться спіраль вентиляційної шахти. Трубу поміщають у ґрунт на глибину 6–7 метрів. Різниця температур на поверхні та на глибині призводить до конденсації вологи з повітря, яка подається наверх. За твердженням розробника, такий конденсат чистіший за дистильовану воду.

Прилад дає близько 10 літрів води на день, причому, він поміщається в рюкзак. При температурі на поверхні 30 градусів тепла та при вологості 70 % досить охолодити повітря всього на 6°C, щоб отримати 21,3 грама води з кубічного метра повітря в годину. На отримання холоду йде до 70 % енергії, але в цьому випадку енергія безкоштовна, тому що вона під землею. На глибині холод природний, а значить, дармовий. Повітря, насичене вологою, нижче точки роси перетворюється в шукану вологу. Інші 30 % енерговитрат нагнітаються простими турбінками, які серійно випускаються — їм надає руху вітер. Можна використовувати й сонячну енергію. Електрика потрібна тільки на те, щоб відкачати воду, яка накопичилася в трубах під землею, але на це йде кілька секунд.



Едвард Лінакр з Австралії винайшов прилад, що працює на тому ж принципі, що й труба Левіна, але *для зрошення полів*. Установка «вичавлює» вологу навіть з сухого повітря. Вода спрямовується безпосередньо до коренів рослин. Система складається з крученої мідної трубки, яка має всередині мідну спіраль — це покращує теплообмін. Трубка поміщається до ґрунту, а невелика турбінка на вході системи розкручується силою вітру та заганяє повітря по вертикальній трубі в заховану нижче рівня ґрунту ту саму мідну трубку-конденсатор. У ній температура повітря швидко падає і на стінках трубки, а також на поверхні теплообмінної спіралі, з'являються краплі води. Отримана в конденсаторі вода стікає в підземний резервуар. Звідти вбудований насос перекачує її в трубки, що йдуть до рослин. Якщо рівень води в баку низький, спеціальний датчик відключає насос для економії енергії. Система переносить вологу нижче поверхні ґрунту, де вона менш ймовірно буде випаровуватися при високих температурах.

У недалекому майбутньому кожен український аграрій матиме змогу безкоштовно зрошувати свої поля.

Це стане можливо завдяки новій українській розробці, яка здатна збирати конденсат із повітря і перетворювати його на живильну вологу.

Звісно, сама установка не безкоштовна, й на 1 га доведеться встановити до 20 таких зрошувальних систем, але автори ідеї запевняють, що витрати окупляться з першого врожаю, а в майбутньому допоможуть зекономити мільйони на поливі полів.

Насправді ж технологія за принципом дуже нагадує один з елементів кондиціонера, який конденсує надмірну вологу з повітря. От тільки в українському стартапі ця функція виведена на перше місце.

Пароподібна волога

В системі вологообігу дуже істотну роль грає ґрунт. Між ґрунтом та атмосферою постійно відбувається активний енергообмін, в якому водяна пара служить основним теплоносієм. Нічна роса лише видимий поверхневий прояв процесу. Сам процес зачіпає *не менше триметрового шару ґрунту*. Вдень сонячне тепло нагріває землю та волога відводиться у вигляді пари до атмосфери з усього газопроникного ґрунтового шару. Вночі процес йде у зворотному напрямку.

Саме рослини пустелі використовують таку вологу з ґрунту, бо швидко можуть її вбирати завдяки потужній кореневій системі. Але за історичними даними, у Криму древні греки пароподібну вологу конденсували на схилах гір в купах щербню та відводили її по керамічним трубам в житлові квартали.

Таким чином, якщо відвести частину сонячного тепла, атмосфера замінить його еквівалентною кількістю тепла, що міститься у водяній парі. Зробити це можна або збільшенням відбивної здатності, або покривши ґрунт шаром матеріалу, що погано проводить тепло в глибину (рис. 41).



Рис. 41. Використання плівки у якості мульчі.

На практиці це досягається підтриманням верхнього 57 см шару ґрунту в постійно пухкому (без кірки) стані, мульчуванні (покриття) її поверхні різними малотеплопровідними матеріалами.

У далекій давнині таку закономірність знали китайці й успішно її використовували, засипаючи землю під своїми насадженнями галькою. За дослідями вчених, 10-ти сантиметровий шар гальки знижує температуру на поверхні ґрунту до 20–25°C при 30–35°C та збільшує вміст вологи на 50–55 мм водяного стовпчика.

Для мульчування можна використовувати білий пінопласт, а також плівку.

Наприклад, експерименти показали, що мульчування пристовбурних кіл молодих дерев волоського горіха поліетиленовою плівкою прискорювало їх зростання в 2–2,5 рази. Сила росту дерев також збільшувалася. Якщо дерева без мульчі через 5 років мали висоту 3–3,5 м, то при мульчуванні плівкою дерева виростили на висоту 5–5,5 м.

Завдяки мульчуванню без єдиного зрошення в посушливих умовах Душанбе вирощувалися такі вологолюбні рослини, як бавовна, помідори та капуста.

Але потрібно пам'ятати, при використанні плівки у якості мульчі, є деякі особливості. Наприклад, закривати плівкою суцільно всю ділянку (без просвітів) не можна, тому що ґрунт буде задихатися. Прозора плівка, яку просто стелити на ґрунт, дасть парниковий ефект, але якщо *засипати плівку шаром ґрунту*, отримаємо протилежний ефект. Все тепло буде поглинати та посилено випромінювати покривний шар ґрунту. Плівка ж тепло вглиб ґрунту буде пропускати погано. Це пастка для пароподібної вологи.

Перед тим, як класти плівку, ґрунт перекопують, перемішують з дво-трирічною дозою органічних та мінеральних добрив, та вирівнюють граблями. Відступивши від країв плівки, риють канавки. Внутрішня стінка канавки повинна бути вертикальною та не ущільненою. Через неї під плівку й буде засмоктуватися пар. Такий пристрій відразу ж починає працювати, тому робити його можна в будь-який час року, якщо земля не промерзла. Взимку плівка не прибирається. Зимово-весняному зволоженню ґрунту плівка не перешкоджає.

ДОДАТКИ

Основні гідрологічні константи

Водоутримуюча здатність ґрунту — це здатність твердої фази ґрунту з використанням сорбційних і капілярних сил утримувати ґрунтову вологу, протидіючи її стіканню під впливом сил тяжіння.

Вологоємність — найбільша кількість води, яку утримує ґрунт завдяки тим чи іншим силам.

Ґрунтово-гідрологічні константи — межі значень вологості, які характеризують виникнення різних форм і категорій ґрунтової вологи.

Повна вологоємність (ПВ, W_{ne}) — це здатність ґрунту вміщувати у своїй товщі воду в об'ємі, що відповідає шпаруватості ґрунту, не враховуючи шпар із защемленим повітрям (5–10 % від загальної шпаруватості).

Найбільша кількість вологи, яку може вмістити ґрунт при повному заповненні всіх пор, за винятком защемлених.

Капілярна вологоємність (КВ, $W_{кв}$) — найбільша кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватись ґрунтом, що знаходиться в межах капілярної кайми.

Найменша вологоємність (НВ, $W_{не}$) — максимальна кількість капілярно-підвищеної води, яку може утримати ґрунт після стікання надлишку води при глибокому заляганні ґрунтових вод.

При НВ ґрунт містить максимальну кількість вологи, доступної для рослин.

Вологість розриву капілярів (ВРК, $W_{врк}$) — це вологість ґрунту, за якої переривається гідравлічний зв'язок капілярної сітки і рух вологи через переосушення різко змінюється. Ця вологість є в інтервалі між найменшою вологоємністю і вологістю стійкого в'янення рослин.

Ця волога нерухома, проте фізіологічно доступна для коріння рослин.

Вологість в'янення (ВВ, $W_{вв}$) — це така вологість ґрунту, за якої волога є недоступною для рослин, через що рослини в'януть, незворотно втрачають тургор і навіть при їхньому перенесенні у насичену парами води атмосферу в'януть.

Максимальна гігроскопічна вологоємність (МГ, $W_{мг}$) — найбільша кількість води, яка може бути утримана сорбційними силами на поверхні твердих частинок (відповідає кількості міцнозв'язаної води).

Вода, що є в ґрунті у стані максимальної гігроскопічності, недоступна рослинам. Це мертвий запас вологи в ґрунті.

Гігроскопічна вологоємність (ГВ, $W_{гв}$) — кількість вологи, яку сухий ґрунт може поглинути з повітря.

Дефіцит вологи у ґрунті ($ДВ$, $W_{ДВ}$) — це різниця між найменшою вологоємністю ($НВ$) і фактичною вологістю ґрунту (W).

Оптимальною вологістю вважають вологість ґрунту, що становить 70–100 % від найменшої вологоємності.

$$ДВ = НВ - W.$$

НВ – ВВ ($ДАВ$, $W_{ДАВ}$) — *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.

Різниця між найменшою вологоємністю ($НВ$) і вологістю в'янення ($ВВ$) характеризує діапазон активної вологи ($ДАВ$) або максимально можливі запаси доступної вологи ($ММЗДВ$):

$$ДАВ = НВ - ВВ.$$

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 кореновому 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.

Продуктивною, або доступною, вологою називають кількість води, яка знаходиться в ґрунті зверху вологи в'янення.

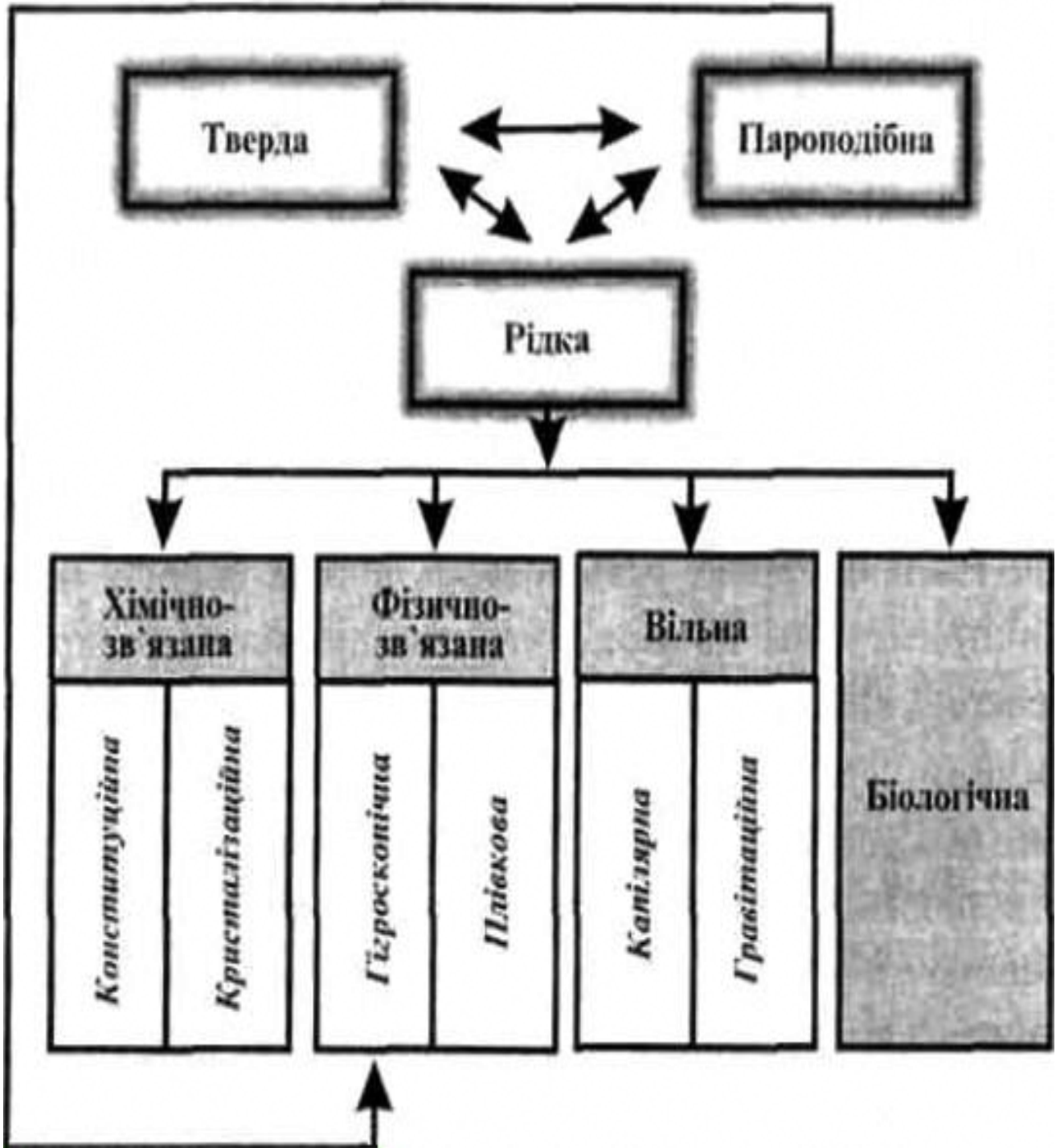
Загальна волога — це її сумарна кількість у ґрунті певної потужності.

Існує деяке правило (*але не завжди дотримується*) про співвідношення величин вологості, які відповідають ґрунтово-гідрологічним константам. Співвідношення наступне:

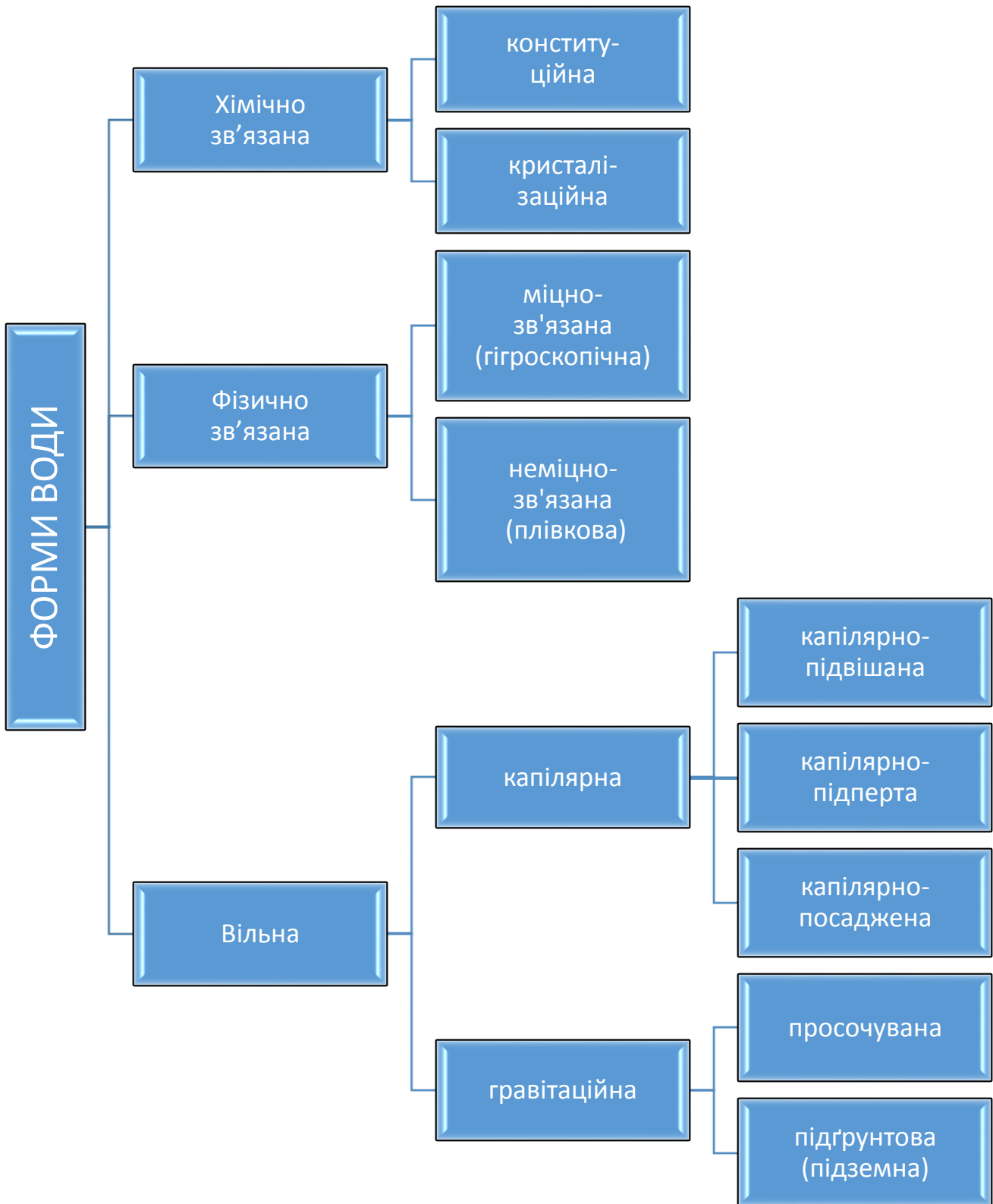
$$ПВ : НВ : ВРК : ВВ : МГ = 1 : 0,5 : 0,35 : 0,25 : 0,05.$$

Це правило (дуже важливо) можна застосовувати лише для орієнтації у величинах ґрунтово-гідрологічних констант, але воно непридатне для кількісних розрахунків. Основою для знаходження величин ґрунтово-гідрологічних констант є їх експериментальне визначення.

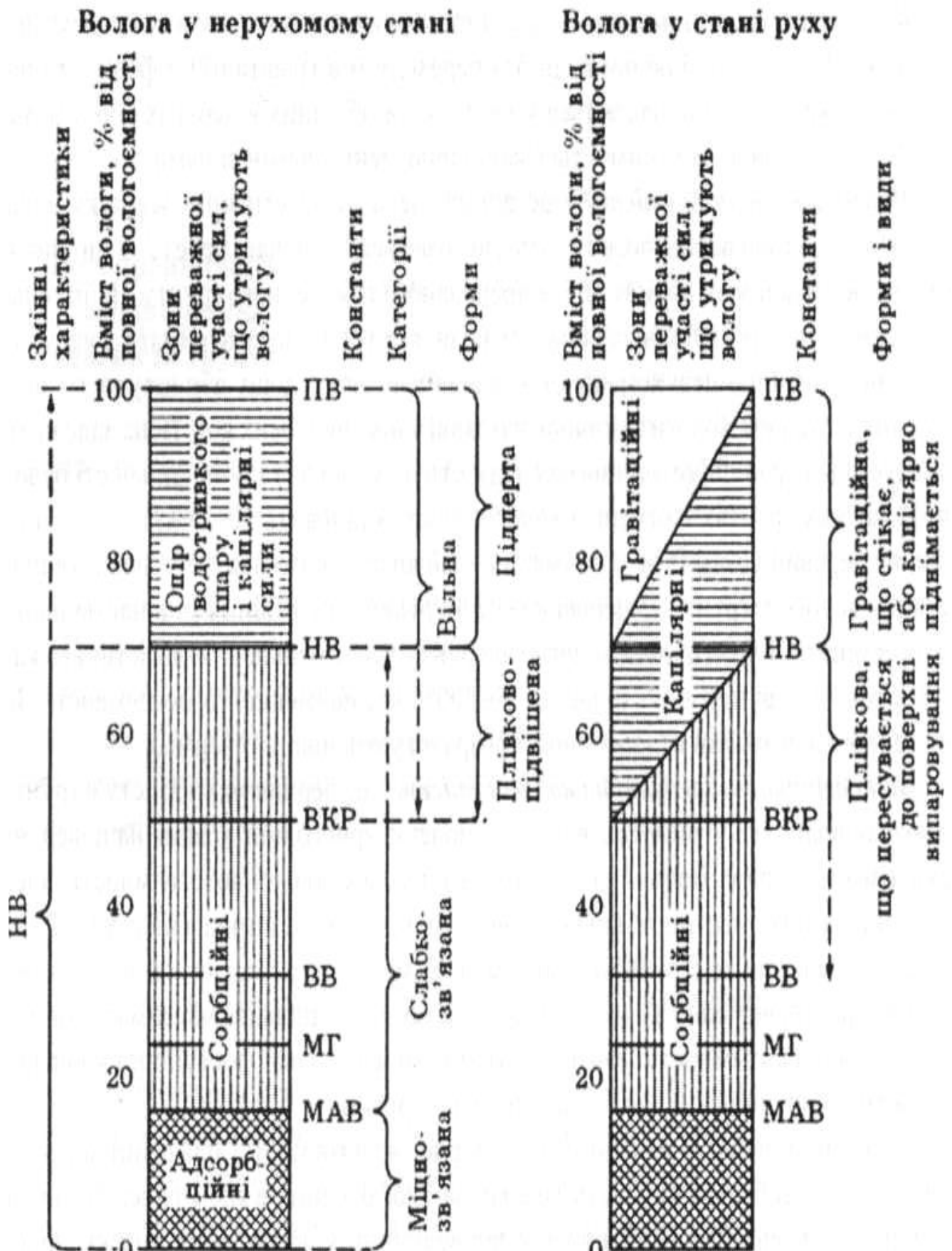
СТАН І ФОРМИ ВОДИ В ҐРУНТІ



СТАН І ФОРМИ ВОДИ В ҐРУНТІ



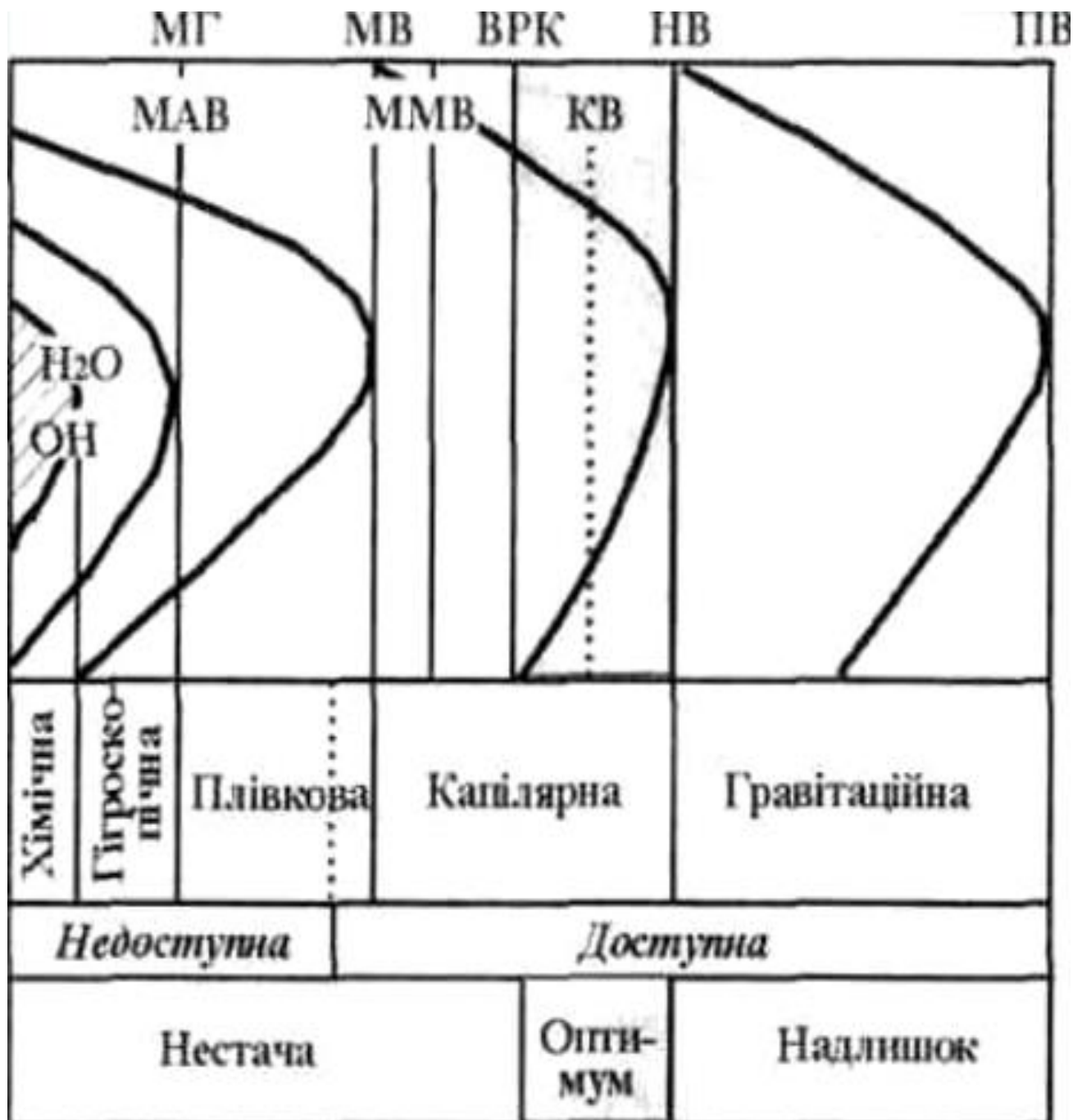
Форми ґрунтової вологи у ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу (за О. А. Роде).



Форми води в ґрунтах, їх властивості і доступність для рослин

Категорія вологи	Сили втримування	Властивості	Доступність води для рослин
Хімічнозв'язана	сила хімічних зв'язків	не є розчинником, не переміщається в ґрунті	недоступна
Міцнозв'язана (гігроскопічна)	сорбційні (молекулярні, електростатичні) 10–20 тис атм (1–2*10 ⁹ Па)	замерзає від –10 до –78°С, не розчиняє солі, щільність 1,5–1,8 г/см ³	недоступна
Неміцнозв'язана (пухко-, рихлозв'язана), (плівкова)	сорбційні (поверхнево-молекулярні) 1–10 атм (3–50*10 ⁵ Па)	замерзає від –4°С до –10°С, погано розчиняє електроліти, дуже повільно переміщається в ґрунті	недоступна і важкодоступна
Капілярна	капілярні	рідка, рухома, є розчинником, переміщує солі і колоїди, замерзає при температурі від 0 до –4°С	середньодоступна і доступна
Гравітаційна	гравітаційні (стікає під дією сили тяжіння)	висока розчинна здатність, рухомість	легкодоступна і надлишкова

ФОРМИ ҐРУНТОВОЇ ВОДИ ТА ЇХ ВІДНОШЕННЯ ДО РОСЛИН



Форми води у ґрунті і відповідні енергетичні константи

(Шейн Е. В., 2005)

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

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
	ггроскопічна волога	максимальна ГВ	волога в'янення	вологість розриву капілярів	найменша вологоємність	капілярна вологоємність	повна вологоємність
> зменшення ступеня зв'язку води з твердою фазою ґрунту >							
		МАВ	ММВ	МКСВ	КВ	ПВ	
		максим. адсорбційна вологоємність	максимальна молекулярна вологоємність	максимальна капілярно-сорбційна вологоємність	капілярна вологоємність	повна вологоємність	
Форма зв'язку	міцнозв'язана		неміцнозв'язана	слабозв'язана	незв'язана		
Рухомість	нерухома		слаборухома	рухома	рухома	вільна	
Стан	адсорбована		плівкова	плівково-капілярна	капілярна	гравітаційна	
Механізм утримування (фізична природа сил)	молекулярні хімічні електро-статичні		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-підвішеною вологою (при зміні шарів за гранулометр. складом)		ґрунтові води, ґрунтові верховодки, надмерзлотні верховодки

Співвідношення максимально можливих запасів води в грунтах України в шарі глибиною 0–100 см (в мм)

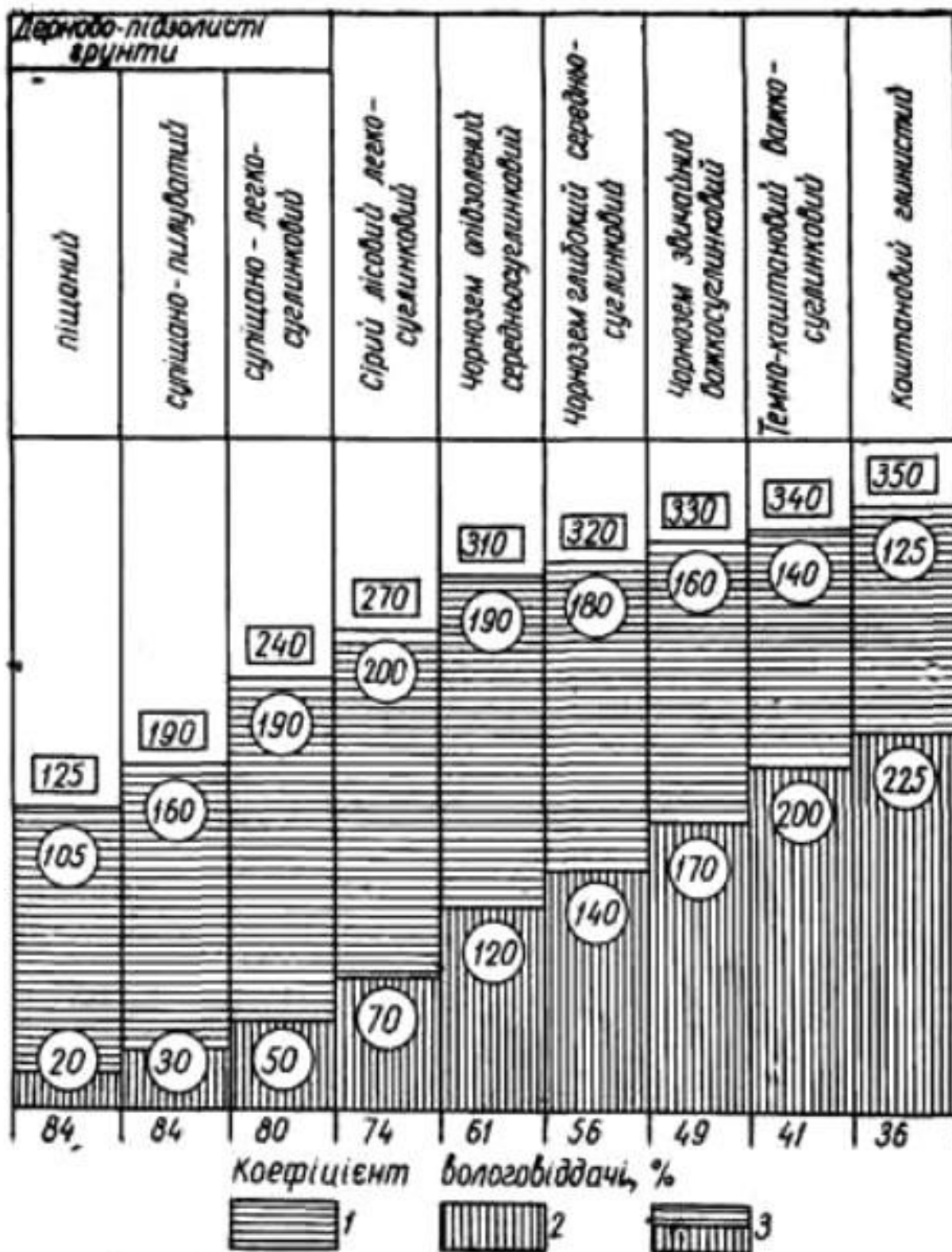


Рис. Співвідношення максимально можливих запасів води в ґрунтах УРСР в шарі глибиною 0–100 см (в мм):
 1 — доступна вода; 2 — недоступна вода; 3 — найменша вода, що дорівнює сумі доступної і недоступної (за М. Г. Яовенком).

Середня вологостійкість різних типів ґрунтів України залежно від їх механічного складу (за М. Г. Йовенком)

Ґрунти і механічний склад /а	Вологостійкість, %						Вологостійкість в'янення, % за вагою
	глибина, см	повна вологостійкість	капілярна		найменша польова		
			вагова	об'ємна	вагова	об'ємна	
Піщані дерново-підзолисті і глейові ґрунти Полісся	0-10	34,6	28,4	38,6	16,5	22,4	2,2
	80-90	18,3	13,1	23,8	5,5	10,8	0,4
Торфово-глейові ґрунти (Житомирська область)	0-10	25,8	—	—	20,6	69,0	38,0
Сірі опідзолені пилувато-суглинкові	80-90	14,8	—	—	7,0	13,3	2,0
	0-10	35,9	—	—	26,2	35,6	5,8
Темно-сірі опідзолені легкосуглинкові	80-90	32,2	—	—	24,1	35,0	12,1
	0-10	42,8	33,6	41,7	23,5	29,2	7,3
Типові (глибокі) середньогумусні пилувато-середньосуглинкові чорноземи (Лісостеп)	80-90	31,1	26,6	37,8	18,7	26,6	10,1
	0-10	47,7	—	—	29,1	33,8	12,6
Типові середньогумусні глинисті чорноземи (Лісостеп)	80-90	43,4	—	—	25,6	31,8	12,2
	0-10	56,2	—	—	39,5	41,9	16,9
Опідзолені пилувато-середньосуглинкові чорноземи (Лісостеп)	80-90	31,5	—	—	27,2	39,7	17,9
	0-10	45,0	—	—	31,5	37,0	11,5
Чорноземи звичайні середньогумусні пилувато-важкосуглинкові (Степ)	80-90	35,8	—	—	25,0	34,3	11,5
	0-10	61,8	46,1	46,1	32,4	32,4	15,8
Чорноземи південні малогумусні важкосуглинкові (сухий Степ)	80-90	30,8	29,4	42,6	23,2	34,1	14,6
	0-10	50,0	—	—	28,4	32,3	10,6
Темно-каштанові солонцюваті важкосуглинкові	80-90	34,6	—	—	21,9	30,7	11,6
	0-10	44,0	—	—	30,8	38,0	16,0
Темно-каштанові солонцюваті важкосуглинкові (сухий Степ)	80-90	30,6	—	—	21,5	32,1	14,0
	0-10	44,0	—	—	30,8	38,0	16,0
Дерново-глейові середньосуглинкові (Закарпатська область)	80-90	30,6	—	—	21,5	32,1	14,0
	0-10	43,0	—	—	33,7	41,7	9,1
	80-90	34,4	—	—	28,2	39,5	10,4

Розрахунок запасу продуктивної вологи (W_{np}), мм

W_{np}	=	W_z	—	$W_{\text{вв}}$
<i>Запас продуктивної (доступної) вологи</i>		загальний запас вологи		запас недоступної вологи (який відповідає вологості в'янення)
		$0,1 \cdot W \cdot h \cdot d$		$0,1 \cdot BB \cdot h \cdot d$
				$BB = K \cdot MG$

де

W_{np} – запас продуктивної вологи в ґрунті, мм;

W_z – загальний запас води в ґрунті на даний час, мм;

$W_{\text{вв}}$ – запас недоступної вологи в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм;

W – польова вологість ґрунту, %;

BB – вологість в'янення ґрунту, %;

h – потужність шару ґрунту, см;

d – об'ємна маса ґрунту, г/см³;

MG – максимальна гігроскопічна волога, %.

K – коефіцієнт в'янення;

(для важких ґрунтів $K=1,50$ і більше, для середніх — $1,34$, для легших — $1,25$)

Запас вологи в орному і метровому (0–100 см) шарах ґрунту дорівнює: сумі кількості вологи в відповідних шарах профілю ґрунту.

$$W_{np} = W_{np1} + W_{np2} + W_{np3} + \dots + W_{npi}$$

ФОРМУЛИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОЄМНОСТЕЙ ҐРУНТУ

Загальний запас води:

$$W_3 = W \cdot d \cdot h \cdot 0,1,$$

де W_3 – загальний запас води в ґрунті на даний час, мм;
 W – польова вологість ґрунту, %;
 d – щільність будови ґрунту, г/см³;
 h – потужність шару ґрунту, см.

Запас недоступної вологи:

$$W_{66} = BB \cdot d \cdot h \cdot 0,1,$$

де W_{66} – запас недоступної вологи в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм;
 BB – вологість в'янення, %;
 d – щільність будови ґрунту, г/см³;
 K – коефіцієнт в'янення;
 h – потужність шару ґрунту, см.

Продуктивна волога:

$$W_{np} = W_3 - W_{66},$$

де W_{np} – запас продуктивної вологи в ґрунті, мм;
 W_3 – загальний запас води в ґрунті на даний час, мм;
 W_{66} – запас води в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

Максимально можливий запас продуктивної вологи:

$$W_{ДАВ} = W_{нв} - W_{66},$$

де $W_{ДАВ}$ – діапазон активної вологи, мм;
 $W_{нв}$ – запас води в ґрунті, який відповідає найменшій вологоємності, мм;
 W_{66} – запас води в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

Дефіцит вологи:

$$W_{ДВ} = W_{нв} - W_3,$$

де $W_{ДВ}$ – дефіцит вологи, мм;
 $W_{нв}$ – запас води в ґрунті, який відповідає найменшій вологоємності, мм;
 W_3 – запас вологи у ґрунті у даний момент, мм.

Норма поливу:

$$H = ДВ \cdot d \cdot h \quad \text{або} \quad (НВ - W) \cdot d \cdot h,$$

де H – норма поливу, т/га;
 $ДВ$ – дефіцит вологи, %;
 W – польова вологість ґрунту, %;
 $НВ$ – найменша вологоємність, %;
 d – щільність будови ґрунту, г/см³;
 h – потужність шару ґрунту, см.

Вологість в'янення рослин:

$$BB = K \cdot МГ,$$

де BB – вологість в'янення, %;
 $МГ$ – максимальна гігроскопічність, %;
 K – коефіцієнт в'янення;
(для важких ґрунтів $K=1,50$ і більше, для середніх — $1,34$, для легких — $1,25$)

Вологість розриву капілярів:

$$ВРК = 0,7 \cdot НВ,$$

де $ВРК$ – вологість розриву капілярів, %;
 $НВ$ – найменша вологоємність, %.

Максимальна гігроскопічність (МГ) — найбільша кількість (пароподібної) води, яка може бути утримана сорбційними силами на поверхні твердих частинок. Недоступна рослинам, залежить від властивостей ґрунту:

- піщані ґрунти — 0,5–1,3 %;
- легкосуглинкові — 1,5–3 %;
- важкосуглинкові — 5–8 %;
- глинисті — 10–12 %;
- торф'яні — 18–22 %.

Вологість в'янення (ВВ) — це така вологість ґрунту, за якої волога є недоступною для рослин, головним чином залежить від гранулометричного складу:

- піщані ґрунти — 1,5–2,0 %;
- легкосуглинкові — 2,3–4,5 %;
- важкосуглинкові — 7,5–12 %;
- глинисті — 15–18 %;
- торф'яні — 27–33 %.

Вологість в'янення ґрунтів різного гранулометричного складу і торфів
(за С. А. Веріго, 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

Вологість розриву капілярів (ВРК, $W_{врк}$) — це вологість ґрунту, за якої переривається гідравлічний зв'язок капілярної сітки і рух вологи через переосушення різко змінюється (ґрунтова капілярна волога вже не представляє собою єдиного гідравлічного зв'язку, а розпадається на окремі капіляри і залишається у вигляді плівок).

Цю величину вважають близькою до:

- 70 % НВ для суглинкових ґрунтів,
- 50–60 % НВ для піщаних і супіщаних.

Ця волога нерухома, проте фізіологічно доступна для коріння рослин.

Найменша вологоємність (НВ) — максимальна кількість капілярно-підвішеної води, яку може утримати ґрунт після стікання надлишку води при глибокому заляганні ґрунтових вод.

Вона відповідає найвищому зволоженню ґрунту в польових умовах.

Залежить від гранулометричного складу, структурності ґрунту і в середньому знаходиться в межах:

- піщані ґрунти — 5–10 %;
- супіщані — 10–20 %
- суглинкові — 20–30 %;
- глинисті — 30–45 %.

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

Оцінка найменшої вологоємності ґрунту (за Н. Качинським)

Важкі за гранулометричним складом ґрунти		Легкі за гранулометричним складом ґрунти
Вологоємність, % від ваги сухого ґрунту	Оцінка	
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 %

Підйом капілярної води

Капілярно-підперта вода утворюється в 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 пор, а значить — від гранскладу, структурності, будови профілю ґрунту. Так, висота для різних ґрунтів коливається в 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.

Швидкість капілярного підйому води знаходиться у протилежній залежності від розміру частинок: чим вони менші, тим більшої висоти сягає капілярний підйом, але тим повільніше він відбувається.

Залежність висоти підйому води (від механічного складу ґрунту (за О. А. Роде, 1963))

Розмір частинок ґрунту, мм	Висота підйому води, мм
5,0 – 2,0	25
2,0 – 1,0	65
1,0 – 0,5	131
0,5 – 0,2	246
0,2 – 0,1	428
0,1 – 0,05	1055
0,05 – 0,02	2000

Оцінка запасів продуктивної вологи

Оцінка запасів продуктивної вологи	Запаси продуктивної вологи, мм
У шарі 0–20 см	
Добрі	> 40
Задовільні	20–40
Незадовільні	< 20
У шарі 0–100 см	
Дуже добрі	> 160
Добрі	160–130
Задовільні	130–90
Погані	90–60
Дуже погані	< 60

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

Шкала візуального визначення вологості ґрунту

Ґрунт	Орієнтовний вміст води, % від маси абсолютно сухого ґрунту			
	15	15—20	20—25	25—30
Легко-суглинковий	Ґрунт вологий; грудки формуються добре; кулька формується, але при натисканні розсипається	Ґрунт сирий; грудки міцні; кулька формується, але при натисканні легко розсипається; короткий шнур утворюється з утрудненням	Ґрунт мокрий; грудки здатні ліпитися, шнур довгий, легко подрібнюється на коротші шнури	Ґрунт тече і просочується між пальцями
Середньо-суглинковий	Ґрунт слабо вологий; грудки і кулька формуються добре; при скачуванні кульки шнур не утворюється	Ґрунт вологий; формуються міцні грудки; при скачуванні утворюються короткі шнури	Ґрунт сирий, грудки здатні добре ліпитися, при скачуванні кульки утворюються довгий шнур	Ґрунт вологий; грудки здатні добре ліпитися; шнур довгий, міцний
Важко-суглинковий та глинистий	Ґрунт сухий; грудки в руці формуються погано; шнур при скачуванні розсипається	Ґрунт вологий; грудки формуються добре; шнур при скачуванні подрібнюється	Ґрунт вологий; грудки міцні, при скачуванні кульки утворюються короткі шнури	Ґрунт мокрий, грудки здатні ліпитися, кулька міцна; шнур довгий, міцний

Шкала оцінки ступеня зволоження ґрунту

Оцінка ступеня зволоження ґрунту	Орієнтовні ЗПВ у шарі 0—10 см, мм	Стан ґрунту	Характеристика роботи техніки і стан рослин
Надмірно зволожений	>30	Текучий	Полеві роботи майже неможливі. Машини грузнуть у ґрунті; рослини страждають від надмірної кількості води
Дуже зволожений	30—20	Липкий	Полеві роботи затруднюються, обробіток потребує значних тягових зусиль, ґрунт прилипає до полиці плуга та коліс, сошники сівалок залипають, рослини ростуть задовільно
Добре зволожений	20—12	М'яко-пластичний	Обробіток ґрунту ведеться з максимальною продуктивністю, якість роботи відмінна, для рослин і обробітку ґрунту даний ступінь зволоження найбільш сприятливий
Слабо зволожений	12—7	Твердо-пластичний	Обробіток ґрунту потребує значних тягових зусиль, але дає задовільні результати, рослини задовільно забезпечені водою

Визначення гранулометричного складу ґрунтів у польових умовах

Запропоновано такі стандартні критерії польового визначення гранулометричного складу ґрунтів :

1. — *пісок*, непластичний (скачати кульки або шнурок неможливо; ґрунт безструктурний, незв'язний, у сухому стані вільно розсипається; складається з окремих зернин, добре помітних неозброєним оком, інколи з невеликою домішкою дрібних частинок;

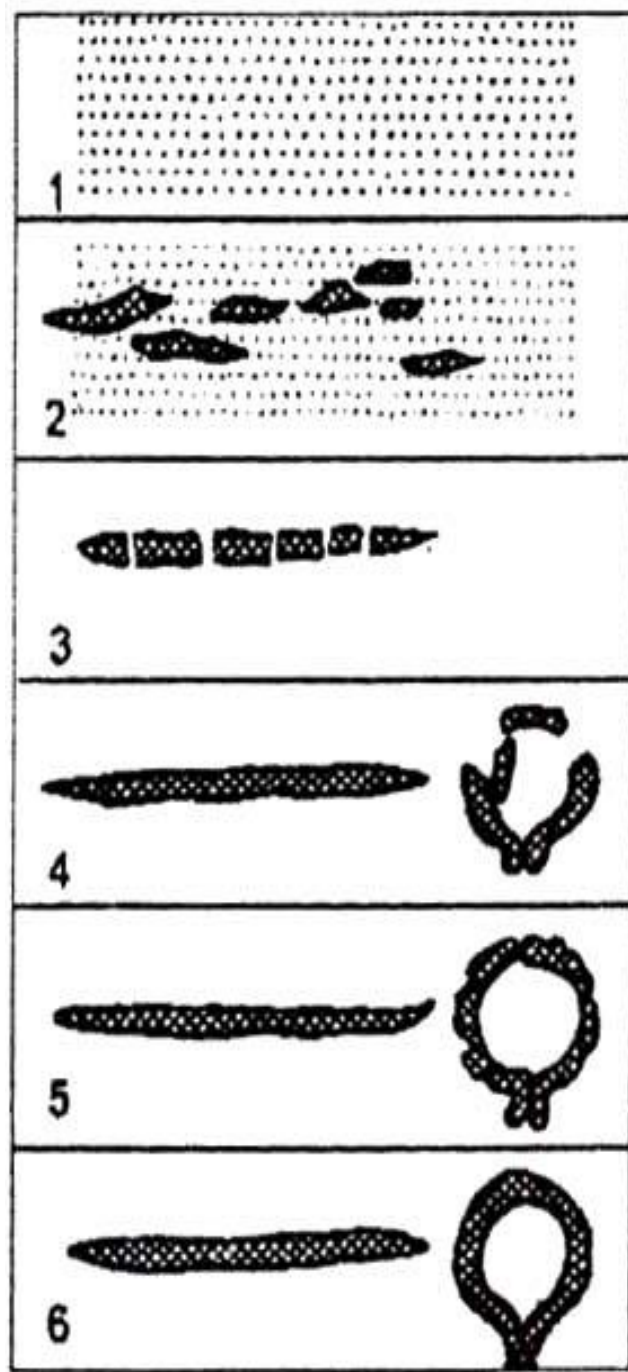
2. — *супісок*, дуже слабопластичний (скачується в неміцну кульку, не скачується у шнурок, при стискуванні між пальцями формується чечевицеподібний коржик); ґрунт легко розтирається в сухому стані між пальцями до суміші піщаних і важчих частинок з перевагою піщаних на дотик;

3. — *суглинок легкий*, слабопластичний (скачується в короткі товсті циліндрики, ковбаски, які дають тріщини при згинанні); ґрунт під час розтирання в сухому стані між пальцями дає тонкодисперсний порошок, в якому відчуються на дотик піщані зерна;

4. — *суглинок середній*, середньопластичний (скачується в шнурок діаметром 2–3 мм, який ламається при подальшому скачуванні або дає тріщини під час згинання); ґрунт унаслідок розтирання в сухому стані між пальцями дає тонкодисперсний порошок, в якому можуть відчуватися на дотик лише окремі піщані зерна;

5. — *суглинок важкий*, дуже пластичний (скачується в тонкий, до 2 мм у діаметрі, шнурок, який надламується при згинанні його в кільце діаметром 2–3 см): в сухому стані агрегати можна розтерти в порошок за допомогою ножа, але не пальцями; порошок тонкодисперсний на дотик, без окремих піщаних зерен;

6. — *глина*, високопластична (скачується в довгий, тонкий, до 2 мм у діаметрі, шнурок, який згинається без тріщин у кільце діаметром 2–3 см); у сухому стані агрегати важко розтерти ножом до тонкодисперсного однорідного порошку



Класифікація структурних агрегатів (за С. О. Захаровим)

Рід	Вид	Розміри
<i>Тип А. Кубоподібна — рівномірний розвиток за трьома осями</i>		
<i>Макроструктури і агрегати</i>		
I. Брилувата — агрегати великі, грані й ребра слабо виражені	1. Грубобрилувата 2. Дрібнобрилувата	> 10 см 10–5 см
II. Грудкувата — агрегати переважно складні та слабо оформлені	3. Грубогрудкувата 4. Грудкувата 5. Дрібногрудкувата	5–3 см 3–1 см 1–0,5 см
<i>Мезоструктури і агрегати</i>		
III. Порошиста — грані й ребра добре виражені, агрегати достатньо оформлені	6. Порошиста	< 0,25 см
IV. Горіхувата — більш чи менш правильні форми, поверхня граней порівняно рівна, ребра гострі	7. Грубогоріхувата 8. Горіхувата 9. Дрібногоріхувата	> 10 мм 10–7 мм 7–5 мм
V. Зерниста — більш чи менш правильні форми, іноді опуклі, з гранями шерехатими, гладкими чи блискучими	10. Грубозерниста (горіхувата) 11. Зерниста (крупниста) 12. Дрібнозерниста (порошиста)	5–3 мм 3–1 мм 1–0,25 мм
<i>Тип Б. Призмоподібна — розвиток по вертикальній осі</i>		
VI. Стовпчаста — правильної форми з добре вираженими гладкими бічними вертикальними гранями, з опуклою „головкою” і нерівною основою	13. Грубостовпчаста 14. Стовпчаста 15. Дрібностовпчаста	> 5 см* 5–3 см < 3 см
VII. Призматична — з рівними, часто глянцевиими поверхнями, гострими ребрами	16. Грубопризматична 17. Призматична 18. Дрібнопризматична	> 5 см 5–3 см < 3 см
<i>Тип В. Плитоподібна — розвиток переважно за двома горизонтальними осями</i>		
VIII. Плитчаста — шарувата з більш чи менш вираженими горизонтальними площинами спайності і з поверхнями різного характеру	19. Сланцювата 20. Плитчаста 21. Пластинчаста 22. Листувата	> 5 мм** 5–3 мм 3–1 мм < 1 мм
IX. Луската — з порівняно невеликими, частково вигнутими горизонтальними площинами, і часто гострими ребрами (деяка подібність до луски риб)	23. Шкаралупувата 24. Груболуската 25. Дрібнолуската	> 3 мм 3–1 мм < 1 мм

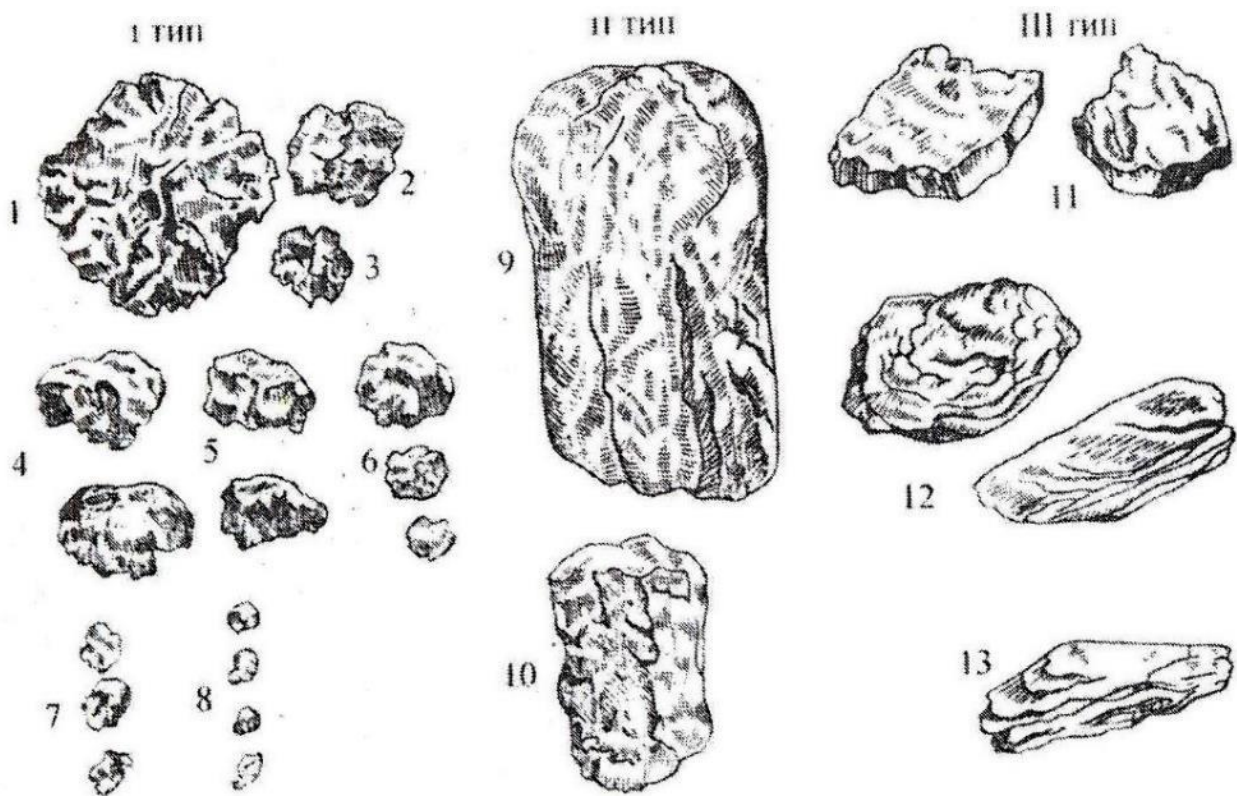


Рис. Найголовніші види структури ґрунту (за С. О. Захаровим):

I тип: 1 – грубогрудкувата; 2 – грудкувата; 3 – дрібногрудкувата; 4 – грубогоріхувата; 5 – горіхувата; 6 – дрібногоріхувата; 7 – грубозерниста; 8 – зерниста. II тип: 9 – стовпчаста; 10 – призматична. III тип: 11 – сланцювата; 12 – пластинчаста; 13 – листувата

Узагальнена класифікація механічних елементів ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів (за Н.А. Качинським, 1965)

Діаметр часток, мм	Назва механічних фракцій	Групи механічних елементів
> 3	Камінці	Кам'яниста частина ґрунту
3-1	Гравій	
1-0,5	Пісок крупний	Фізичний пісок
0,50-0,25	Пісок середній	
0,25-0,05	Пісок дрібний	
0,05-0,01	Пил крупний (грубий)	Фізична глина
0,01-0,005	Пил середній	
0,005-0,001	Пил дрібний	
0,001-0,0005	Мул грубий	
0,0005-0,0001	Мул тонкий	
< 0,0001	Колоїди	

ЛІТЕРАТУРА

1. Ґрунти Тернопільської області. – Львів : «Каменярь», 1969. – 52 с.
2. Ґрунти України: властивості, генезис, менеджмент родючості / Купчик В. І., Іваніна В. В., Нестеров Г. І., Тонха О. Л. – Київ : Кондор, 2007. – 437 с.
3. Агроекологія / за ред. М. М. Городнього. – Київ : Вища школа, 1993. – 416 с.
4. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів: підручник. У двох частинах. Ч. 1 / С. П. Позняк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 270 с.
5. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів: підручник. У двох частинах. Ч. 2 / С. П. Позняк. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 286 с.
6. Панников В. Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В. Д. Панников, В. Г. Минеев. – Москва, Агропромиздат. – С. 512.
7. Канівець В. І. Життя ґрунту / В. І. Канівець. – К. : Аграрна наука, 2001. – 131 с.
8. Карасюк І. М., Агрохімія / І. М. Карасюк, О. М. Геркіял, Г. М. Господаренко. – Київ : Вища школа, 1991. – С. 278.
9. Агрохімія: підручник / М. М. Городній, А. В. Бикін, Л. М. Нагаєвська. – К. : ТОВ «Алефа», 2003. – 786 с.
10. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
11. Воронин А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин. – М. : МГУ, 1984. – 205 с.
12. Гаськевич В. Лабораторно-аналітичні роботи з ґрунтознавства / В. Гаськевич, Г. Підвальна. – Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. – 96 с.
13. Качинский Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1970. – Ч. 2. – 360 с.
14. Наконечний Ю. І. Практикум з ґрунтознавства і географії ґрунтів : навчальний посібник / Ю. І. Наконечний. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 374 с.
15. Папіш І. Практикум з фізики ґрунту. Ч. 2. Гідрофізика ґрунтів / І. Папіш. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2001. – 37 с.
16. Практикум з ґрунтознавства : навчальний посібник / за ред. Д. Г. Тихоненка. – Х. : Майдан, 2009. – 448 с.
17. Теории и методы физики почв / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М. : Гриф и К, 2007. – 616 с.
18. Фермерам порадили, як знизити ризики від несприятливих умов при вирощуванні кукурудзи [Електронний ресурс] – URL : <https://kurkul.com/news/23137-fermeram-poradili-yak-zniziti-riziki-vid-nespriyatlivih-umov-pri-viroschuvanni-kukurudzi>.

19. Волога навколо нас: як Україні забезпечити свої ґрунти достатньою кількістю води? / Євгенія Ткачова [Електронний ресурс] – URL : <http://agro-yug.com.ua/archives/22146>.
20. Впіймати вологу [Електронний ресурс] – URL : <https://www.agroone.info/publication/vpijmati-vologu/>
21. Григорій Опанасенко: Площі під озимими зерновими потрібно збільшувати, але з урахуванням усіх нюансів / Олена Басанець, Алла Гусарова [Електронний ресурс] – URL : <https://superagronom.com/articles/416-grigoriy-opanasenko-ploschi-pid-ozimimi-zernovimi-potribno-zbilshuvati-ale-z-urahuvannyam-usih-nyuansiv>
22. Лущення стерні для закриття вологи слідом за комбайном / [Електронний ресурс] – URL : https://www.poettinger.at/uk_UA/Newsroom/Artikel/12188
23. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт з дисципліни “Фізика ґрунту”. Ч. II. Гідрофізика / укл. О. М. Підкова. – К. : Принт-Сервіс, 2019. – 44 с.
24. Нюанси в технології no-till / Ігор СТОРЧОУС, канд. с.-г. наук, Інститут захисту рослин НААН України [Електронний ресурс] – URL : <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/395-niuansy-v-tekhnologii-no-till.html>

ДЛЯ ПОТАТОК
