

**В.В.МЕДВЕДЄВ**  
**С.Ю.БУЛИГІН**  
**С.В. ВІТВИЦЬКИЙ**

**ФІЗИКА ҐРУНТУ**  
Навчальний посібник

**Київ -2018**

УДК 631.42/.43  
ББК 40.3  
М 42

Затверджено до друку Вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол № 12 від 25 травня 2018 року

### **Р е ц е н з е н т и:**

**ТАРАРІКО Ю.О.** – доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН України, завідувач відділу агроресурсів та інформаційних технологій  
(«Інститут водних проблем і меліорації НААН України»)

**ТКАЧЕНКОМ.А.** – доктор сільськогосподарських наук, завідувач відділу агрогрунтознавства  
(ННЦ «Інститут землеробства НААН України»)

**Медведєв В.В., Булигін С.Ю., Вітвіцький С.В.**

М 42 Фізика ґрунту . Навчальний посібник . К.: Видавництво, 2018.- 289 с.  
**ISBN**

Фізичні властивості визначають напрямок майже всіх процесів, які відбуваються в ґрунті. Вони істотною мірою впливають на ріст і розвиток рослин. Більшість агротехнічних і меліоративних заходів у землеробстві застосовуються для тимчасового або тривалого поліпшення головним чином фізичних властивостей ґрунтів. Розробляючи агротехніку вирощування сільськогосподарських культур, до уваги беруть насамперед ці показники.

Навчальний посібник з дисципліни «Фізика ґрунту» розроблений для аспірантів спеціальності 201 «Агрономія», містить теоретичний матеріал з основних методів визначення найважливіших процесів і властивостей ґрунту, шляхів їх раціонального використання.

Матеріали посібника спрямовані на формування у аспірантів знань про основні агрофізичні властивості ґрунту та вміння застосовувати ці знання для вирішення професійних завдань.

УДК 631.42/.43  
ББК 40.3  
**ISBN**

© Медведєв В.В.,  
Булигін С.Ю.,  
Вітвіцький С.В., 2018  
© НУБіП України, 2018

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ЧАСТИНА 1. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ I. МІНЕРАЛЬНА ЧАСТИНА ТВЕРДОЇ ФАЗИ ҐРУНТУ, II СКЛАД ТА ФІЗИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 2. ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД ТВЕРДОЇ ФАЗИ ҐРУНТІВ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 3. АГРЕГАТНИЙ СКЛАД ҐРУНТІВ (СТРУКТУРА ҐРУНТУ) .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 4. ЗАГАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 5. ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 6. ПОВІТРЯНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ ...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 8. ОРГАНІЗАЦІЙНІ, ТЕХНОЛОГІЧНІ, ТЕХНІЧНІ І ВИХОВНІ АСПЕКТИ БЕЗДЕГРАДАЦІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.1. Загальні принципи.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.2. Зменшення розораності.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.3. Нормування механічного навантаження.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.4. Мінімізація технологій обробітку .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.5. Новітні ґрунтозахисні (антидеградаційні) технології .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.6. Конструювання ґрунтофільних знарядь обробітку .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.7. Підтримка бездефіцитного балансу органічної речовини ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
8.8. Удосконалювання структури сівозмін .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

- 8.9. Мульчування рослинними залишками і  
пластичними матеріалами ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.10. Удосконалювання асортименту і технології  
внесення мінеральних добрив ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.11. Хімічна меліорація ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.12. Агролісомеліорація ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.13. Структурна (технічна) меліорація ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.14. Штучне оструктурювання ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.15. Фітомеліорація ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.16. Електромеліорація ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.17. Подолання фізичної деградації в поверхневому прошарку  
і у профілі ґрунту ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.18. Зниження загрози геоекоаномальних проявів .. **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.19. Організаційні заходи ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.20. Проекти нових антидеградаційних стандартів і агровимог  
..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.21. Екологічний імператив ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 8.22. Моніторинг деградаційних фізичних процесів **Ошибка! Закладка не определена.**  
(кризовий моніторинг) ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

## ЧАСТИНА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

### РОЗДІЛ 1. ВІДБІР І ПІДГОТОВКА ЗРАЗКІВ ҐРУНТУ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .... **Ошибка! Закладка не определена.**

### РОЗДІЛ 2. ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД ҐРУНТУ . **Ошибка! Закладка не определена.**

#### 2.1. Діагностика ґрунтів за гранулометричним складом ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

#### 2.2. Гранулометричний аналіз ґрунту ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

##### 2.2.1. Підготовка ґрунту до гранулометричного аналізу (за Н.А. Качинським) ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2.2.2. Підготовка ґрунту до гранулометричного аналізу методом розтирання з розчином пірофосфату натрію .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.3. Кількісне визначення механічних елементів ...**Ошибка! Закладка не определена.**

2.4. Розрахунки результатів гранулометричного аналізу ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

2.5. Гранулометричний склад ґрунтів України .....**Ошибка! Закладка не определена.**

2.6.Застосування даних гранулометричного аналізу ...**Ошибка! Закладка не определена.**

РОЗДІЛ 3. АГРЕГАТНИЙ СТАН ҐРУНТУ .....**Ошибка! Закладка не определена.**

3.1. Агрегатний аналіз ґрунту за методом М.І. Саввінова ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.1 Сухий агрегатний аналіз ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.2. Мокрий агрегатний аналіз ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2. Мікроагрегатний аналіз ґрунту за методом Н.А. Качинського ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

РОЗДІЛ 4. ЗАГАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.1 Визначення щільності твердої фази ґрунту за С.І. Долговим. **Ошибка! Закладка не определена.**

4.2.Визначення щільності ґрунту .....**Ошибка! Закладка не определена.**

4.3. Визначення пористості ґрунту..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.4. Визначення твердості ґрунту твердоміром Ю.Ю. Ревякіна... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.5. Визначення твердості ґрунту пенетрометром ..**Ошибка! Закладка не определена.**

4.6. Визначення липкості..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.7. Визначення пластичності..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.8. Визначення набрякання та зсідання ґрунту .....**Ошибка! Закладка не определена.**

4.9. Визначення вологості зерніння ґрунту  
за методом М.М. Годліна..... **Ошибка! Закладка не определена.**

**РОЗДІЛ 5. ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ .....Ошибка! Закладка не определена.**

5.1. Польова вологість ґрунту і методи її визначення..**Ошибка! Закладка не определена.**

5.2. Визначення гігроскопічної вологості.....**Ошибка! Закладка не определена.**

5.3. Визначення максимальної гігроскопічності .....**Ошибка! Закладка не определена.**

5.4. Визначення вологості в'янення рослин .....**Ошибка! Закладка не определена.**

5.5. Визначення найменшої вологоємності .....**Ошибка! Закладка не определена.**

5.6. Визначення капілярної вологоємності.....**Ошибка! Закладка не определена.**

5.7. Визначення повної вологоємності.....**Ошибка! Закладка не определена.**

5.8. Практичне застосування даних про вологість  
та водні властивості ґрунту .....**Ошибка! Закладка не определена.**

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....Ошибка! Закладка не определена.**

## ВСТУП

Вчення про фізичні властивості та режими ґрунту як природно-історичного тіла називають *фізикою ґрунтів*.

Ґрунт, як фізичне тіло, є полідисперсною, гетерогенною системою, яка складається в основному із мінеральних часток різного розміру та різного мінералогічного і хімічного складу. Між цими частками утворюються пористості (пори), які заповнені ґрунтовим розчином чи ґрунтовим повітрям.

Ґрунти, завдяки своїй дисперсності, мають велику питому поверхню і значну поверхневу енергію. Це забезпечує прояв процесів обміну між твердою та рідкою фазами ґрунту.

Ступінь прояву процесів у ґрунті залежить від фізичних властивостей ґрунту. Фізичні властивості орних ґрунтів – це один з найважливіших факторів їх родючості. Контроль змін фізичних параметрів, які відображають зміни фізичних процесів ґрунту, є необхідним елементом моніторингу з метою оцінки стану земель і визначення найбільш ефективних прийомів їх збереження і підвищення родючості. Якщо агрохімічна характеристика ґрунтів є однією з найважливіших складових частин теоретичного обґрунтування ефективного застосування добрив та хімічних меліорантів, то агрофізична характеристика є такою ж важливою складовою частиною теоретичного обґрунтування всіх основних заходів землеробства (системи обробітку ґрунту, системи сівозмін і взагалі системи землеробства) і меліорації, основними завданнями яких є в першу чергу покращення ґрунтово-фізичних умов відповідно до вимог сільськогосподарських рослин. Значення фізичних властивостей ґрунту для його родючості особливо посилюється за умов інтенсивного використання сільськогосподарських земель. Застосування сільськогосподарської техніки підвищеної енергоємності і маси, поширення площі зрошення, застосування рідких органічних добрив – це ті фактори, які можуть призвести до погіршення фізичного стану орних земель, їх деградації.

Навчальний посібник з дисципліни «Фізика ґрунтів» призначений для аспірантів спеціальності 201 «Агрономія», розкриває фазовий склад ґрунту, особливості ґрунту як фізичного тіла, основні фізичні властивості ґрунтів, їх взаємозв'язок, шляхи раціонального використання та заходи по меліорації ґрунтів і спрямований на формування у аспірантів **загально професійних компетенцій:**

- здатність до критичного аналізу та оцінки сучасних наукових досягнень, генерації нових ідей при вирішенні наукових і практичних завдань;

- здатність проектувати та здійснювати комплексні дослідження ґрунтового покриву;

- знання методології теоретичних та експериментальних досліджень у галузі сільського господарства , агрономії, захисту рослин, селекції і генетики сільськогосподарських культур, ґрунтознавства, агрохімії, технології виробництва сільськогосподарської продукції, у тому числі із використанням новітніх інформаційно-комунікативних технологій;

- уміння розробляти нові методи досліджень та їх застосування у галузі сільськогосподарського виробництва;

**та професійних компетенцій:**

- здатність оцінювати ґрунтово-екологічні умови та ступінь їх придатності до вирощування різних сільськогосподарських культур;

- володіння методами діагностики ґрунтоутворного процесу, системних досліджень ґрунтів в агроекосистемах, їх стійкості до антропогенного навантаження;

- готовність застосовувати заходи управління агрофізичними властивостями ґрунтів та раціонального використання біоресурсів на підставі теоретичних і методологічних основ системних досліджень їх родючості.



# **ЧАСТИНА 1. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ**

## **РОЗДІЛ 1. МІНЕРАЛЬНА ЧАСТИНА ТВЕРДОЇ ФАЗИ ҐРУНТУ, ЇЇ СКЛАД ТА ФІЗИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ**

Ґрунт – багатофазне природне тіло, речовина якого представлена фазами: рідкою, газовою, живою та твердою.

Тверда фаза складається з мінеральної та органічної частини. Основну масу ґрунту, як природного утворення складає мінеральна частина. Органічна частина переважає в органогенних горизонтах (підстилки, торф'яні горизонти, степовий войлок). В гумусово-аккумулятивних горизонтах частка органічної речовини складає 5-15% загальної маси горизонту.

Мінеральна частина профілю складає його основну частину, отже, у ній і відбуваються всі процеси ґрунтоутворення, включаючи фізичні. Тому необхідно детально знати склад і властивості мінеральної частини ґрунту, як матриці.

Тверда фаза ґрунту складається із часток різних мінералів. Ці частки, або елементарні ґрунтові частки (ЕГЧ) є відокремленими мінеральними, органо-мінеральними та органічними утвореннями кристалічної або аморфної будови, всі молекули яких знаходяться у хімічному взаємозв'язку. Розрізняють первинні механічні елементарні частки, які утворюються в процесі вивітрювання, подрібнення гірських порід та мінералів, та вторинні частки, які утворюються шляхом синтезу кінцевих продуктів вивітрювання молекулярного і колоїдного розмірів, коагуляції, а також біологічним шляхом.

### **Склад мінеральної частини ґрунту**

Ґрунти утворюються з поверхневого шару гірських порід при поселенні на них організмів та розвитку біологічних процесів. Породи, з яких розвинулись ґрунти, називаються ґрунтотворними, або материнськими. Гірські породи діляться на три групи: магматичні, або вивержені, осадові та метаморфічні.

**Магматичні породи** утворились із силікатних розплавів (магм), які затверділи в глибоких шарах земної кори (породи які називаються глибинними або інтрузивними), чи при виверженні на поверхню (породи виливні або ефузивні). Ці породи мають кристалічну чи прихованокристалічну будову, переважно щільну, масивну текстуру, тому їх називають масивнокристалічними (граніт, пегматити, дуніти та ін.). Магматичні породи складають 95% від загальної маси порід літосфери, але ґрунтоутворюючими ці породи бувають рідко, головним чином в гірських областях або при виході на поверхню на території кристалічних щитів (наприклад, у Житомирському Поліссі).

**Метаморфічні породи** - це вторинного походження масивнокристалічні породи, що утворились з магматичних чи осадових порід в надрах Землі в результаті глибоких перетворень (метаморфізму) в умовах високих температур та тиску при опусканні ділянок земної кори чи на контакті з магмою. До цих порід належать гнейси, сланці, мармур та ін. Їх значення для ґрунтоутворення дуже мале.

Поверхня суші земної кулі на 75% покрита **осадовими породами**. Це відклади продуктів вивітрювання масивнокристалічних порід чи залишків (скелетів, панцирів) різноманітних організмів. Осадові породи поділяються на **уламкові, хімічні осади та біогенні (органогенні)**. Найбільш поширені серед ґрунтоутворюючих порід уламкові (піски, пісковики, пилуваті або лесові породи, глини, конгломерати, брекчії та ін.). Хімічні та біогенні породи також відіграють важливу роль в ґрунтоутворенні, особливо карбонатні відклади - вапняки, мергелі, доломіти, крейда.

Осадові породи нерідко поділяють на древні (дочетвертинні) та сучасні (четвертинні). Древні породи з часом значною мірою втратили пухкість, пористість і є переважно щільними породами. Тому їх нерідко об'єднують з масивнокристалічними дочетвертинними або *корінними породами*. Молоді осадові породи утворилися в четвертинний період внаслідок вивітрювання корінних порід та перевідкладення продуктів їх руйнування

водою, вітром, льодом. Формування цих порід не припиняється і в наш час. На відміну від щільних порід вони мають сприятливі для ґрунтоутворення властивості: пухке складення, пористість, водопроникність, водоутримуючу та вбирну здатність.

Формування ґрунтоутворних порід пов'язане з процесами вивітрювання гірських порід, переносом та перевідкладенням продуктів цього вивітрювання. Магматичні та інші гірські породи, що утворилися в термодинамічних умовах, які відрізняються від тих, що панують на земній поверхні, при виході на поверхню починають швидко руйнуватись. **Процес механічного руйнування та хімічної зміни гірських порід, що вийшли на земну поверхню, а також мінералів, що входять до складу цих порід, називається вивітрюванням.**

Найбільшою мірою вивітрювання викликане біологічними та біохімічними процесами, які протікають в гірських породах під впливом організмів, а також термічними умовами земної поверхні, дією атмосферної вологи та газів, особливо  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , що мають біогенне походження. Всі ці фактори діють на породу одночасно.

За характером переважаючого фактора прийнято розрізняти три основні форми вивітрювання: *фізичне*, *хімічне* та *біологічне*. Такий поділ дуже умовний, оскільки будь-яка зміна хімічного складу породи супроводжується зміною і її фізичних властивостей. В свою чергу хімічне вивітрювання є результатом дії на породу біогенного кисню, вуглекислоти, інших продуктів життєдіяльності організмів, тобто є по суті біологічним.

**Фізичне вивітрювання** - це процес механічного руйнування гірських порід на уламки різного розміру без зміни хімічного складу мінералів, що входять до складу породи. Як і всі тверді тіла, мінерали та гірські породи при нагріванні розширюються, а при охолодженні - стискуються. В результаті періодичних стискувань та розширень зчеплення між зернами мінералів у породах слабшає. Темні мінерали нагріваються більш, ніж світлі. У полімінеральних порід, наприклад у гранітів, коефіцієнти

об'ємного розширення різних мінералів - різні, наприклад у кварцу 0,00031, а в ортоклазу 0,00017. Завдяки цьому, породи розкришуються на мінеральні зерна.

Найбільший вплив на гірські породи мають добові зміни температури повітря, особливо в районах з континентальним кліматом. В тріщини, які виникають в породі під впливом нагрівання та охолодження, проникає вода, створюючи там капілярний тиск близько  $1,5 \text{ кг/см}^2$  при розмірі тріщин 1 мікрон. Взимку, коли вода в тріщинах замерзає, то вона збільшується в об'ємі в 1,1 рази, що також сприяє розтріскуванню породи.

Цілком зрозуміло, що вивітрювання найбільш інтенсивно відбувається в областях з сильним нагріванням чи охолодженням поверхні порід - в полярних та субтропічних пустелях в високогірних районах. В результаті фізичного вивітрювання гірська порода набуває нової якості - вона стає проникною для води. Фізичне вивітрювання, подрібнюючи щільні породи, значно підвищує їх питому поверхню, що створює сприятливі умови для хімічного вивітрювання.

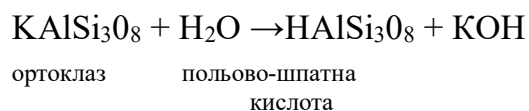
Під *хімічним вивітрюванням* розуміють хімічну зміну мінералів гірських порід та утворення нових мінеральних сполук, більш стійких в умовах поверхні Землі. Найважливішими факторами цього процесу є вода, вуглекислий газ, кисень. Розклад мінералів водою підсилюється з підвищенням температури та насиченням її вуглекислим газом, який надає їй кислої реакції. Підвищення температури на кожні  $10^\circ\text{C}$  прискорює швидкість хімічних реакцій в 2-2,5 рази. Саме цим пояснюється інтенсивне хімічне вивітрювання в екваторіальних областях земної кулі, а в полярних - сповільнене. Навіть вода, що незначною мірою дисоційована на іони, слабомінералізована, може повністю розчинити гірські породи, наприклад галоїди, деякі сульфати. Досить інтенсивно розчиняються в насиченій вуглекислою водою карбонатні породи: вапняки, доломіти, мергелі.

З дією води, збагаченої газами та органічними кислотами пов'язані не лише процеси розчинення, але й гідроліз, окислення - відновлення,

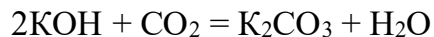
гідратація та інші більш складні процеси. Прикладом розчинення може бути така реакція:



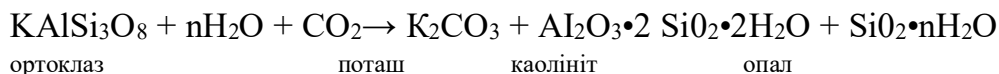
Гідроліз полягає в заміщенні катіонів лужних та лужноземельних металів в кристалічній ґратці мінералів воднем:



Основа KOH обумовлює лужну реакцію розчину, при якій відбувається глибше руйнування кристалічної ґратки ортоклазу. KOH при наявності CO<sub>2</sub> утворює карбонат:

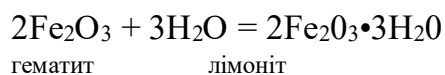


Процеси гідролізу відіграють велику роль при каолінізації польових шпатів при дії на них водяних парів та вуглекислоти у повітрі:



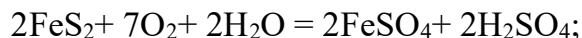
Як бачимо, первинний мінерал ортоклаз, що входить до складу гранітів та інших порід дає при хімічному вивітрюванні цілу низку вторинних мінералів. При цьому такий важливий елемент живлення, як калій переходить у розчинну, доступну для рослин форму.

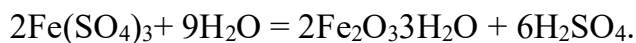
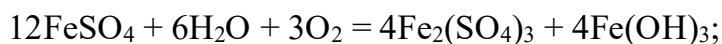
З дією води пов'язана також гідратація - процес приєднання молекул води до мінералів:



Гідратація спричиняє розпушування поверхні мінералів, що підсилює подальші процеси їх руйнування.

Широке поширення в зоні вивітрювання має окислення, якого зазнають численні мінерали, що містять закисне залізо чи інші здатні до окислення елементи:



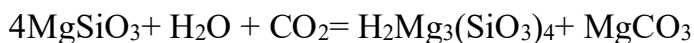


Сірчана кислота, яка при цьому утворюється, бере участь в утворенні мінералів. Наведені вище реакції пояснюють чому над покладами сульфідів у вигляді червонувато-бурої кірки, або «залізного капелюха» залягає лимоніт.

В тих випадках, коли при вивітрюванні має місце нестача вільного кисню, розвивається процес відновлення. Наприклад, в умовах болотного середовища окисні сполуки заліза переходять в закисні (FeO) і утворюються гідрати закису зеленуватого кольору. Сизо-зелена чи сиза глиниста маса, яка підстилає торфи, називається **глеєм**, а процес виникнення глею називається **оглеєнням**.

В результаті хімічного вивітрювання руйнуються кристалічні ґратки мінералів, збільшується рухомість і доступність для рослин деяких макро- та мікроелементів їх живлення. При утворенні глинистих мінералів дуже зростає вбирна здатність порід та ґрунтів, що на них формуються. Крім того, в результаті хімічного вивітрювання гірська порода перетворюється на пористе тіло, що має капілярні властивості і здатність утримувати воду силами поверхневого натягу.

В результаті вивітрювання магматичних порід утворюються продукти трьох типів: **залишкові утворення, перевідкладені осади та розчинні солі**. Як показав ще О.Є.Ферсман, в процесі вивітрювання відбувається збагачення поверхневих осадових порід CaO та CO<sub>2</sub> (карбонатизація):



талек

Зростає вміст Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та H<sub>2</sub>O (гідратація). Накопичення цих продуктів вивітрювання підлягає закону зональності. Разом з тим відбувається зниження вмісту Na<sub>2</sub>O і частково MgO в корі вивітрювання, внаслідок

переходу цих сполук до гідрографічної мережі, океану чи накопичення їх в безстічних ділянках суші.

**Біологічним вивітрюванням** називають процес механічного руйнування та хімічної зміни мінералів гірських порід під безпосереднім впливом організмів, що поселяються на породах, а також продуктів їх життєдіяльності та продуктів розкладу органічних решток. Біологічне вивітрювання - це основна форма вивітрювання, що зокрема має місце і при утворенні ґрунту. При біологічному вивітрюванні організми вилучають з породи необхідні для побудови їх тіла мінеральні речовини і акумулюють їх в поверхневих горизонтах породи, створюючи умови для формування ґрунту.

Розклад гірських порід здатні виконувати багато мікроорганізмів, особливо автотрофні бактерії - хемосинтетики, зокрема нітрифікуючі бактерії, що утворюють сильну мінеральну (азотну) кислоту.

Розклад алюмосилікатів, зокрема польових шпатів (мікрокліну) та каолініту здатні здійснювати сапрофітні бактерії. В результаті їх життєдіяльності в середовищі з'являються кремнекислота та глинозем.

Існують особливі силікатні бактерії, що мають здатність руйнувати алюмосилікати, наприклад *Bacillus extorquens*, який особливо енергійно розкладає слюди. М.А.Глазовська ще в 1950 році показала, що синьо-зелені водорості енергійно руйнують поверхню гірських порід. Але особливо велику роль в таких процесах відіграють діатомові водорості (*Diatomeae*), які вилучають з алюмосилікатів кремнезем для побудови свого кістяка - двохстворчастого панциря.

Дуже сильну руйнуючу дію на гірські породи чинять лишайники, котрі здатні виділяти не лише вуглекислоту, але й специфічні лишайникові кислоти. Руйнування порід підсилюється після зміни лишайників мохами, що затримують багато вологи. Гриби роду *Penicillium* виділяють речовину, яка руйнує первинні мінерали. Як лишайники, так і гриби не тільки

хімічно, а й механічно руйнують породи, внаслідок проникнення гіфів по площинах спайності первинних мінералів.

Тварини, як і рослини, механічно розпушують гірські породи, впливають на них своїми виділеннями.

Характер вивітрювання дуже залежить від умов середовища, мінералогічного складу порід, зокрема вмісту в них  $\text{SiO}_2$ . Так при вивітрюванні кислих порід утворюються переважно піски та супіски, а при вивітрюванні основних - суглинки та глини.

У зв'язку з залежністю процесів вивітрювання від біокліматичних умов з півночі на південь змінюється склад порід кори вивітрювання, підлягаючи закону зональності.

Вперше на це звернув увагу В.В.Докучаєв, котрий - в роботі «Про зональність у мінеральному царстві» (1899) відзначив, що явища зональності чітко виражені в складі майже всіх четвертинних відкладів Європейської та Азіатської частини Росії. О.Е.Ферсман (1930) виділив чотири широтних геохімічних зони: арктичну, середньовологу, пустельну та екваторіальну.

Г.Гаррасовіц (1930) встановив два зональних типи кори вивітрювання: **сіалітний** (Si - Al), властивий помірним широтам, та **алітний** (Al), поширений у тропіках. Для сіалітного типу характерно утворення глинистих мінералів, переважно монтморилонітової групи та гідрослюд і збереження в корі вивітрювання найбільш стійких первинних мінералів.

В умовах вологого субтропічного та тропічного клімату такі мінерали не є термодинамічно стійкими. Вони піддаються більш глибокому вивітрюванню з утворенням вторинних мінералів групи гідроксидів заліза та алюмінію. Первинні мінерали руйнуються повністю (крім кварцу). В складі глинистих мінералів переважають каолініт та галлуазіт.

С.В.Зонн (1969) запропонував такий поділ кори вивітрювання за молярним відношенням  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$  в фракції мулу (0,001):



1. Алітні ( $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3 < 2,5$ ), до складу яких входять алітні, фералітні та феритні кори вивітрювання зі збільшенням частки оксиду заліза.

2. Сіалітні ( $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3 > 2,5$ ) з поділом їх на сіалітні та ферсіалітні. Для останніх характерно звуження відношення  $\text{SiO}_2:\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Б.Б.Полинов (1934) розробив детальну класифікацію типів вивітрювання та виділив сім форм кори вивітрювання:

#### **Залишкові:**

- грубоуламкова;
- безвапнякова;
- сіалітний елювій вивержених порід;
- алітний елювій вивержених порід;

#### **Акумулятивні:**

- хлоридно-сульфатна (переважно алювіальна);
- карбонатна (переважно делювіальна та пролювіальна);
- сіалітні нанесення.

У 1956 році К.І.Лукашов виділив такі зональні типи кори вивітрювання:

- літогенна (уламкова);
- сіалітно-глиниста;
- сіалітно-хлоридно-сульфатна;
- сіалітно-феритна;
- алітна.

Сукупність залишкових продуктів вивітрювання різних за складом елювіальних утворень в верхньому шарі літосфери називається **залишковою (елювіальною) корою вивітрювання**. Переміщені водою, вітром, льодом продукти утворюють **аккумулятивні (перевідкладені) кори вивітрювання**.

Процеси вивітрювання, тобто подрібнення гірських порід та мінералів і формування генетичних горизонтів ґрунту залежить не тільки від складу та особливостей порід, але й клімату. Оскільки клімат носить

зональний характер, то це відбивається також на швидкості вивітрювання та зміні зональних типів ландшафтів .

Залежно від генезису, умов формування четвертинні осадові породи мають різний склад, будову, складення та властивості, що істотно відбивається на ґрунтоутворенні та родючості ґрунтів. Є такі основні генетичні типи четвертинних осадових порід:

**Елювій** - продукти вивітрювання корінних порід, що залишилися на місці свого утворення. Для нього характерний тісний зв'язок з початковою (корінною) породою, поступовий перехід від пухкого дрібнозернистого матеріалу до щільної породи.

**Делювій** - наноси, відкладені на схилах дощовими та талими водами. Для делювію характерна деяка відсортованість та добре виражена шаруватість.

**Пролювій** формується в гірських районах, біля підніжжя гір, внаслідок діяльності тимчасових водних та селевих потоків значної сили. Пролювій невідсортований, містить грубоуламковий матеріал.

**Алювій** - це осадові породи, відкладені при розливів річок (заплавний алювій). До алювію належать і донні відклади рік (русловий алювій).

**Озерні відклади** заповнюють пониження древнього рельєфу, відзначаються глинистістю та шаруватістю. До них належать стрічкові глини, що утворилися в прильодовикових озерах.

**Льодовикові або моренні відклади** - це продукти вивітрювання різних порід, переміщені та відкладені льодовиком. Вони невідсортовані і неоднорідні за механічним складом, містять валуни, гальку, щебінь.

**Флювіогляціальні або водно-льодовикові відклади** пов'язані з діяльністю потоків води та льодовиків, які розмивали морену, сортували і відкладали її матеріал.

**Леси та лесовидні суглинки.** Ці породи поширені за межами льодовикової області. Це дуже цінні пилюваті, суглинкового механічного

складу породи, світло- жовтого або сірого кольору, пухкі, пористі, багаті на вуглекислий кальцій. На Україні три четвертих усіх материнських порід - леси. Походження лесів проблематичне, але згідно з еоловою гіпотезою П.І.Тутковського та В.О.Об- ручова лес утворився при розвіюванні моренних та задрових відкладів.

Ґрунт успадковує від материнської породи, з якої він формується, механічний і значною мірою мінералогічний та хімічний склад, що відчутно відбивається на його родючості.

До **первинних мінералів** належать такі, які входять до складу магматичних порід або перейшли з них в інші породи, в т.ч. і ґрунтоутворні без будь- яких змін їх хімічного складу. **Вторинні мінерали** - це результат хімічного вивітрювання первинних. Вони відрізняються від вихідних мінералів не лише хімічним складом, а й високим ступенем дисперсності, тобто подрібнення. В механічних частках породи чи ґрунту  $>0,001$  мм переважають первинні, а в частках  $<0,001$  мм - вторинні мінерали. У більшості мінеральних ґрунтів первинні мінерали переважають за масою над вторинними. Лише у фераліт- них ґрунтах (червоноземах, коричневих, латеритних та ін.) нерідко первинних мінералів буває менше, ніж вторинних.

В ґрунтоутворних породах та ґрунтах містяться такі первинні мінерали: кварц, польові шпати, слюди, рогові обманки, піроксени та інші мінерали, наприклад гематит, магматит, апатит.

У складі магматичних порід переважають польові шпати (близько 60%), рогові обманки та піроксени (близько 20%), далі йде кварц (10-12%), слюди (3-5%) та інші мінерали.

За співвідношенням вмісту найголовніших груп породоутворюючих мінералів пухкі ґрунтоутворні породи (а також ґрунти, що на них формуються) істотно відрізняються від магматичних порід. В них різко зменшується вміст польових шпатів, піроксенів, рогових обманок на фоні абсолютного домінування кварцу, як найбільш стійкого до вивітрювання

мінералу. Вміст кварцу досягає 40-60% і більше. Польові шпати, як правило, займають друге місце (до 20%). Серед польових шпатів переважає ортоклаз, а плагіоклази зустрічаються рідше. Як у пухких породах, так і в ґрунтах кварц та польові шпати зустрічаються у вигляді крупних зерен пилу, піску, гравію, оскільки вивітрювання їх відбувається повільно.

Амфіболи, піроксени і багато слюд порівняно легко піддаються вивітрюванню, тому в пухких породах і ґрунтах вони містяться в невеликих кількостях у вигляді дрібних часток. Пухкі ґрунтоутворюючі породи, за виключенням грубого елювію магматичних порід, являють собою продукт неодноразового перевідкладення, тривалих змін щільних порід під дією фізичних та біохімічних агентів. Все це призводить до накопичення в них більш стійкого до вивітрювання кварцу.

У свою чергу, залежно від гранулометричного складу пухких ґрунтоутворюючих порід, первинні мінерали беруть неоднакову участь у їх формуванні: у дрібноземі пісків їх 90-98%, суглинків 50-80%, а глин 10-12%.

Незважаючи на те, що первинні мінерали в ґрунтах на відміну від тонкодисперсних вторинних, не мають вбирної здатності, їх вплив на формування ряду властивостей ґрунтів і, навіть, на їх генезис може бути досить значним (механічний склад, пористість, водопроникність, вологоємність тощо).

Роль нестійких до вивітрювання первинних мінералів може бути багатогранною. Деякі з цих мінералів можуть бути джерелом ряду елементів живлення: апатит багатий на фосфор, біотит і, особливо, глауконіт - на калій, середні та основні плагіоклази поряд з карбонатами є джерелом кальцію у ґрунті.

До групи стійких до вивітрювання породоутворюючих мінералів належать крім кварцу ряд каркасних та кільцевих силікатів, а також мінерали групи оксидів заліза та титану. Мінерали цієї групи (крім кварцу)

містяться в ґрунтах в дуже невеликих кількостях, проте їх діагностична роль досить істотна. По них можна судити про літологічну однорідність профілю ґрунту, чи різних розрізів одного й того ж ґрунту.

Вміст стійких до вивітрювання акцесорних мінералів визначають для розрахунку різних коефіцієнтів, які дозволяють робити висновки про ступінь вивітреності первинних мінералів у профілі ґрунту. Часто розраховують кварце-полевошпатний коефіцієнт тощо.

Такі стійкі мінерали як мікроклін, ортоклаз, кислі плагіоклази в ґрунті нерідко набувають ознак вторинних змін, тобто тією чи іншою мірою можуть бути джерелом надходження до ґрунту і рослин елементів живлення (насамперед калію).

Розподіл первинних мінералів по окремих гранулометричних фракціях нерівномірний. Уламки порід зосереджені головним чином у фракціях розміром понад 0,25 мм. В цих же фракціях вміст кварцу також є максимальним. Польових шпатів більше всього у фракціях 0,25-0,05 та 0,05-0,01 мм. Важкі мінерали (амфіболи, піроксени, слюди) в найбільшій кількості містяться у фракціях 0,25-0,05 та 0,05-0,01 мм.

Найбільш різняться між собою за мінералогічним складом ґрунти, що утворилися на пухких породах та ґрунти, що сформувалися на елювії щільних порід. На рівнинних територіях північної півкулі найбільш поширеними серед пухких порід є морени, леси, покривні та лесовидні суглинки, флювіогляціальні піски та супіски. У всіх цих породах, звичайно, домінує кварц, друге місце займають польові шпати при низькому вмісті важких мінералів, яких найбільш в моренах.

Ґрунти на елювії щільних порід мають серед первинних мінералів значну кількість польових шпатів (30-40%) і менше кварцу (20-30%), на відміну від ґрунтів, що утворилися на пухких породах (кварцу - 70-90%, польових шпатів - 10-20%). Різні генетичні горизонти одного й того ж ґрунту, особливо в профілях, диференційованих на елювій та ілювій,

можуть дуже істотно різнитися між собою за вмістом первинних мінералів (табл. 2).

В ґрунтах на елювії кислих магматичних порід (гранітів, гранітодіоритів) у складі первинних мінералів переважають польові шпати, кварц, біотит, рогова обманка.

**Вторинні мінерали** в ґрунтах практично повністю зосереджені в тонко- дисперсних гранулометричних фракціях розміром  $<0,001$  мм. Вони діляться на такі групи: 1) мінерали простих солей; 2) оксиди та гідрооксиди; 3) глинисті мінерали.

Мінерали простих солей утворюються при вивітрюванні первинних мінералів, а також внаслідок ґрунтоутворення. До таких солей належить кальцит, магнезит, доломіт, сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), гіпс, мірабіліт ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), галіт, фосфати, нітрати тощо. В умовах сухого клімату, коли випаровуваність перевищує кількість опадів, ці мінерали здатні скупчуватися в ґрунтах у великих кількостях. Значна частина мінералів - солей при високій вологості ґрунту розчиняється, насичуючи ґрунтовий розчин, а при висиханні вони знову випадають в осад, тобто переходять із рідкої в тверду фазу ґрунту.

Якщо викопати розріз на чорноземному ґрунті при нормальній зволоженості, то спочатку видно на його стінках лише темне забарвлення. Пізніше можуть проявлятися вицвіти білястого забарвлення. Це карбонати кальцію. Вони переходять із розчинної форми  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  на нерозчинний осад  $\text{CaCO}_3$  внаслідок зміни реакції ґрунту під впливом збільшення парціального тиску  $\text{CO}_2$ .

Велика кількість солей характерна для соленосних ґрунтоутворних порід (приморські відклади, древні морські осадові породи) та засолених ґрунтів.

Мінерали - гідрооксиди кремнію, алюмінію, заліза, марганцю утворюються в аморфній формі при вивітрюванні первинних мінералів спочатку у вигляді колоїдних гелів з великою кількістю води. Згодом (по мірі старіння), ці гелі втрачають воду, утворюючи оксиди чи гідрооксиди

**Мінералогічний склад дрібнозему підзолистого ґрунту на морені  
(дані В.М.Фрідланда, 1978)**

Горизонт та глибина, см	Важка фракція	Кварц	Польові шпати	Біотит	Амфіболи	Епідот
Е 0-5орн	6,5	81,5	9,2	0,1	4,3	0,5
I 5-15	4,9	75,1	9,4	-	3,3	0,2
PII 15-25	8,3	46,8	36,1	0,1	6,1	0,4
P 50-60	7,9	49,1	36,4	0,8	4,9	0,5

кристалічної структури. Цьому процесу сприяють коливання температур та вологості, а також окислювально-відновні умови у ґрунті.

Найбільше значення серед мінералів-оксидів мають гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та гетит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) із мінералів групи заліза, а також гібсит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) із групи алюмінію. Ці мінерали зустрічаються в ілювіальних горизонтах підзолистих ґрунтів, жовтоземах та червоноземах, в так званих фералітних та залізистих ґрунтах. Мінерали цієї групи здатні зв'язувати в малорухомі форми фосфорну кислоту.

На розчинність гідроксидів заліза та алюмінію дуже впливає реакція середовища. При  $\text{pH} < 5$  в іонну форму переходить алюміній, а при  $\text{pH} < 3$  - тривалентне залізо.

Самостійну групу вторинних мінералів утворюють аллофани ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), що виникають при взаємодії кремнекислоти та гідроксидів алюмінію, які вивільняються при руйнуванні первинних і вторинних мінералів, а також із золи рослинних решток. Вони нерідко досить тісно зв'язані з гумусовими речовинами, а їх присутність підвищує ємність вбирання, збільшує гідрофільність, липкість та здатність ґрунтів до набухання.

Глинисті мінерали є вторинними алюмосилкатами з загальною хімічною формулою  $n\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  та характерним молярним відношенням

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , що змінюється від 2 до 5. Глинисті мінерали, як правило, становлять основну частину вторинних мінералів. Важливість ролі цих мінералів у ґрунтах полягає в тому, що завдяки властивій їм вбирній здатності, вони визначають ємність катіонного обміну ґрунтів, а також разом з гумусом є основним джерелом надходження мінеральних елементів у рослини. До найважливіших глинистих мінералів належать мінерали групи каолініту, гідро- слюд, монтморилоніту, змішано-шаруватих мінералів та хлориту. Загальними рисами всіх глинистих мінералів є шарувата кристалічна будова, висока дисперсність, вбирна здатність.

**Мінерали каолінітової групи** (каолінит, галлуазит, гіббсіт) мають вузьке молярне відношення  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 2(2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ . Ці мінерали належать до діоктасдричних шаруватих алюмосилікатів, що мають жорстку (нерухому) кристалічну ґратку (1 :1), тобто таку, що складається з одного шару кремнекисневих тетраедрів та одного шару алюмогідроксильних октаедрів. Відстань між шарами постійна ( $7,2\text{Å}$ ). Сильний зв'язок між пакетами утруднює доступ води в міжпакетний простір, тому каолінит не набухає. Дисперсність його теж невисока. Тому ємність катіонного обміну не перевищує 25 м.-екв на 100 г. У зв'язку з цим ґрунти, що містять каолінит у значній кількості (найчастіше фералітні), мають низьку вбирну здатність, але добру водопроникність (завдяки тому, що цей мінерал не набухає).

**Мінерали групи гідрослюд** (або групи іліту) - це тришарові алюмосилікати з нерухомою ґраткою. Ємність вбирання 45-50 м.-екв. на 100 г. Гідрослюди містять значну кількість калію (до 6-8%  $\text{K}_2\text{O}$ ), який частково може засвоюватися рослинами. Мінерали цієї групи в різних кількостях можуть бути присутніми в різних ґрунтах, але особливо часто в підзолистих та сіроземах. Близьким до гідрослюд є мінерал вермикуліт, з рухомою кристалічною ґраткою та високою ємністю вбирання (до 100 м.-екв. і більше).



**Мінерали групи монтморилоніту** (монтморилоніт та його різновиди: нон- троніт, бейделіт, сапоніт) мають молярне відношення  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 4$ . Пакети їх кристалічних ґраток тришарові (2:1), що складаються з двох шарів кремнекисневих тетраедрів та оточеного ними октаедричного шару. В тетраедрах та октаедрах монтморилоніту можливі ізоморфні заміщення, що і обумовлює непостійність хімічного складу цих мінералів. Надлишковий заряд, що при цьому виникає, компенсується катіонами, переважно обмінними. Кристалічна ґратка цих мінералів рухома, а зв'язок між пакетами - слабкий. В між- пакетні простори легко проникає вода, що спричиняє набухання монтмори- лонітових глин.

Мінерали монтморилонітової групи мають дуже високу дисперсність. Вони містять до 60% колоїдних часток і до 80% часток менше 0,001 мм. Ємність катіонного обміну становить 80-120 м.-екв. на 100 г маси мінералу.

Мінерали групи монтморилоніту частіше властиві ґрунтам, що мають нейтральну або слаболужну реакцію - чорноземного, каштанового, солонцевого та інших типів. Водно-фізичні властивості цих мінералів не зовсім сприятливі, особливо коли їх у ґрунтах велика кількість, або ці ґрунти утворилися на монт- морилонітових глинах. По-перше, такі глини містять велику кількість води, що є недоступною для рослин (максимальна гігроскопічність монтморилоніту досягає 30%). По-друге, у вологому стані вони дуже набухають, а в сухому - ущільнюються, утворюють глибокі тріщини. Ґрунти на таких глинах мають високу липкість, здатні утворювати дуже щільну кірку; їх питомий опір до обробітку теж високий. Але у поєднанні з гумусовими речовинами (гуміновими кислотами) вони утворюють агрономічно цінні, водотривкі агрегати грудочкувато-зернистої, інколи горіхуватої структури. Тому при високому вмісті гумусу водно-фізичні властивості глинистих ґрунтів поліпшуються.

Широко поширені в ґрунтах і змішаношаруваті мінерали, в кристалічних ґратках яких чергуються між собою тетраедричні та

октаедричні шари різних мінералів: монморилоніту, ілліту, вермикуліту, хлориту і т.п. Цих мінералів за свідченням В.П.Градусова (1976), багато в ґрунтах помірного та холодного гумідного, а також арктичного поясів, де глинисті мінерали на 30-80% представлені цією групою.

Дослідження Т.А.Соколової (1982) свідчать про те, що з присутністю в ґрунтах так званих ґрунтових хлоритів, що містять в міжпакетних проміжках поліполярні іони гідроксиду алюмінію, значною мірою може бути зв'язана гідролітична кислотність ґрунтів.

Абсолютно суворої приуроченості різних видів глинистих мінералів до певних типів ґрунтів і навіть ґрунтоутворних порід не виявлено.

Ґрунт не просто успадковує мінералогічний склад материнської породи. Ґрунтоутворення супроводжується переміщенням, руйнуванням, синтезом мінералів, особливо глинистих, а ці останні, ще й мають здатність до взаємних перетворень у ґрунті.

#### **Хімічний склад твердої фази ґрунтів (мінеральної частини)**

Ґрунт складається з мінеральних, органічних та органо-мінеральних речовин. Головна особливість хімічного складу, за якою ґрунт відрізняється від материнської породи полягає в тому, що в ґрунті є органічні речовини, зокрема специфічні гумусові. Іншою особливістю ґрунту є те, що йому властива різноманітність (динамічність) хімічного складу у часі.

У складі ґрунту виявлені майже всі відомі хімічні елементи. Середні цифри, які показують вміст окремих елементів в літосфері та ґрунтах, за пропозицією академіка О.Є. Ферсмана почали називати кларками на честь американського геохіміка Ф.У. Кларка, який вперше у 1889 році вирахував середній хімічний склад земної кори.

Вивчення ґрунтів з геохімічної точки зору вперше було почато академіком В.І.Вернадським у 1911 році. Відносний вміст окремих хімічних елементів в літосфері і ґрунті змінюється в широких межах (табл. 3)

Таблиця 3.

**Середній вміст найпоширеніших хімічних елементів у літосфері та ґрунтах, % від маси (за Виноградим, 1950)**

Елемент	Літосфера	Ґрунт	Елемент	Літосфера	Ґрунт
O	47,2	49,0	Ti	0,6	0,46
Si	27,6	33,0	H	0,15	0,10
Al	8,8	7,13	C	0,10	2,00
Fe	5,1	3,8	S	0,09	0,085
Ca	3,6	1,37	P	0,08	0,09
Na	2,64	0,63	N	0,01	0,10
K	2,6	1,36			
Mg	2,1	0,6			

Якщо порівняти між собою середній хімічний склад літосфери та ґрунту, то можна побачити багато спільного між ними. Літосфера майже наполовину складається з кисню (47,2%), більше, ніж на чверть з кремнію (27,6%). Далі йдуть алюміній (8,8%), залізо (5,1%), кальцій, натрій, калій, магній (до 2-3% кожного). Ці вісім елементів складають більше 99% загальної маси літосфери. Такі важливі елементи живлення рослин як вуглець, азот, фосфор, сірка займають десяті і соті частки відсотка, а мікроелементів - ще менше.

У ґрунті, порівняно з літосферою, в 20 разів більше вуглецю (2 проти 0,1%), в 10 разів більше азоту (0,1 проти 0,01%), що зумовлено життєдіяльністю організмів (усі вищенаведені дані належать А.П.Виноградову). В ґрунті більше, ніж у літосфері кисню, водню (як елементів води), кремнію та менше алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію та інших елементів, що є наслідком процесів вивітрювання та ґрунтоутворення.

Хімічні елементи знаходяться в ґрунті в різних сполуках:

**Кисень** входить до більшості первинних та вторинних мінералів, а також до органічної частини ґрунту і води.

**Кремній** найчастіше входить до складу кварцу, а також силікатів. При хімічному вивітрюванні силікатів і внаслідок ґрунтоутворення кремнезем переходить у розчин в формі аніонів орто- та метакремнієвих кислот ( $\text{SiO}^{4-}$  та  $\text{SiO}_3^{2-}$ ), частково у формі золя. Кремнезем може частково вимиватися з ґрунту, а частково осаджуватись в кислому середовищі у вигляді гелю  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , який поступово втрачаючи воду, може перетворюватись на кварц вторинного походження. Взаємодіючи з основами, напівтораоксидами ( $\text{R}_2\text{O}_3$ ) кремнезем утворює вторинні силікати.

**Алюміній** входить до складу первинних і вторинних мінералів, а в кислих ґрунтах - як увібраний катіон у складі ґрунтового вбирного комплексу. В процесі вивітрювання мінералів, що містять алюміній, вивільнюється його гідроксид, який частково залишається на місці утворення, а частково утворює колоїдний розчин - золь. В умовах слабко-лужної реакції гідроксид алюмінію повністю випадає у вигляді гелів ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), що при кристалізації переходить у вторинні мінерали - гіббсит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) та беміт ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

В кислому середовищі ( $\text{pH} < 5$ ) гідроксид алюмінію стає більш рухомих і в ґрунтовому розчині з'являються іони  $\text{Al}(\text{OH})^-$  та  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ , що мають токсичність і негативно впливають на ріст і розвиток рослин.

З органічними кислотами, а також з гумусовими речовинами гідроксид алюмінію утворює розчинні комплексні сполуки (хелати), в формі яких переміщується по профілю ґрунту.

**Залізо** - життєво необхідний елемент для рослин, без якого неможливе утворення хлорофілу, процеси фотосинтезу і дихання рослин. В ґрунті залізо входить до складу первинних і вторинних мінералів - силікатів, а також до оксидів і гідроксидів простих солей. Воно також міститься у формі увібраного катіону у складі ГВК та як компонент органо-мінеральних похідних гумусових речовин.

При вивітрюванні мінералів, що містять залізо, утворюється його гідроксид, що випадає в формі аморфного гелю  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , а при кристалізації переходить в гетит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) і гідрогетит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ).

В сильно кислому середовищі ( $\text{pH} < 3$ ) рухомість гідроксиду заліза збільшується, в розчині з'являються іони  $\text{Fe}^{3+}$ . В умовах надмірного зволоження утворюються розчинні сполуки  $\text{FeCO}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{FeSO}_4$ . Ці сполуки доступні рослинам. Коли їх багато то проявляється їх токсичність.

**Азот** відіграє в біосфері виключно важливу роль, бо це один з елементів життя. Він входить до складу білків, хлорофілу, нуклеїнових кислот, фосфатів та інших органічних сполук живої клітини. Основна маса азоту зосереджена в гумусі. Вміст валового азоту в ґрунтах становить  $1/20$ - $1/40$  частину від вмісту гумусу. Азот доступний для рослин у формі алюмінію, нітратів та нітритів. Іон  $\text{NH}^+$  легко поглинається ґрунтом (ГВК), може необмінно (фіксовано) поглинатися глинистими мінералами. Іон  $\text{NO}^-$  перебуває переважно в ґрунтовому розчині, легко засвоюється рослинами. Але нітрати можуть легко вимиватися у вологих районах за межі кореневмісного шару, потрапляти в ґрунтові та внутрішні води.

**Фосфор** входить до складу таких органічних сполук, без яких життєдіяльність організмів була б неможливою. Вміст фосфору у сухій речовині рослин складає десяті частки процента. Вміст валового фосфору в ґрунтах знаходиться в межах 0,1-0,5%.

Фосфор у ґрунті може входити як до складу мінеральних, так і органічних сполук. Мінеральні фосфати - це солі алюмінію, заліза, кальцію, магнію, такі мінерали як апатит, фосфорит, а в болотних ґрунтах і віваніт. В деяких ґрунтах (чорноземах, жовтоземах) фосфат-аніон може перебувати у ввібраному стані.

Органічні сполуки фосфору у ґрунті представлені фітином (інозит-фосфатами), фосфатидами, сахарофосфатами, меншою мірою нуклеїновими кислотами та нуклеопроїдами.

Розчинність у ґрунті фосфатів кальцію, магнію, алюмінію, заліза знижується по мірі збільшення їх основності.

Фосфати кальцію мають найбільше поширення в нейтральних, слабокис-лих чи слаболужних ґрунтах. Розчинність їх зменшується від  $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2$  до  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  та  $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$  (гідроксилапатит).

В ґрунтах, що містять багато кальцію, наприклад карбонатних, розчинні фосфати кальцію стають більш основними та менш розчинними, поступово перетворюючись в гідроксилапатит, який здатний до накопичення в цих ґрунтах.

Кислі ґрунти, що містять хімічно активні форми заліза та алюмінію здатні зв'язувати фосфор у формі  $\text{AlPO}_4$ ,  $\text{FePO}_4$ , але найчастіше фосфор тут зв'язується з напівтораоксидами в адсорбційні сполуки, здатні до часткового обміну фосфат-іонів.

Мінеральні фосфати - основне джерело фосфору для рослин. Органічні сполуки фосфору теж можуть стати джерелом фосфору, якщо відбудеться їх хімічний чи ферментативний гідроліз (під дією фосфату).

**Калій** рослини потребують у великих кількостях і він допомагає їм здійснювати важливі фізіологічні функції, пов'язані з фотосинтезом, утворенням цукрів, регулюванням осмотичного тиску клітинного соку та ін. Валовий вміст калію ( $\text{K}_2\text{O}$ ) в ґрунтах важкого механічного складу сягає 2% і більше, а в легких ґрунтах його значно менше. Деякі з первинних мінералів ґрунту, особливо слюди, служать безпосереднім джерелом калію для рослин.

Калій міститься в ґрунтах у ввібраному стані (обмінний та необмінний, або фіксований) і в формі простих солей. Обмінний калій - основне джерело його для живлення рослин. Фіксований калій - важко доступний. Його доступність може зростати в результаті поперемінного висушування та зволоження ґрунту, що веде до розтріскування пакетів кристалічних ґраток.

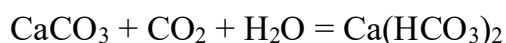
**Сірка** входить до складу білків та ефірних масел. Потреби рослин у сірці можуть становити від кількох кілограмів до 10-15 кілограмів на гектар. Валовий вміст сірки в гумусових горизонтах ґрунтів складається від 0,01 до 2% і більше. В ґрунтах промислових районів, де в атмосферу виділяється багато сірчистого газу, випадають кислотні дощі, рослини не відчують недостачі сірки.

У ґрунті сірка перебуває в формі сульфатів, сульфідів, а також органічних сполук. Сульфатів кальцію (гіпсу), калію та магнію багато в засолених ґрунтах, що формуються в умовах сухого клімату.

**Кальцій** та **магній** - дуже важливі елементи живлення рослин. Магній входить до складу хлорофілу, а кальцій створює сприятливі умови для рослин з точки зору формування фізичних, фізико-хімічних та біогенних властивостей ґрунту.

Серед увібраних катіонів у більшості ґрунтів кальцій займає перше, а магній - друге місце. Ці іони дуже поширені і в ґрунтовому розчині.

Різні форми карбонатних скупчень ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) як малорозчинні сполуки часто зустрічаються в ґрунтах, особливо в чорноземах, де вони утворюють карбонатну «цвіль», «прожилки», «псевдоміцелій», «білозірку». При взаємодії з ґрунтовим розчином, в якому багато розчиненої вуглекислоти, а також з  $\text{CO}_2$  та водяною парою ґрунтового повітря, карбонати переходять на більш розчинні бікарбонати:



**Мікроелементи** - це елементи в ґрунті чи у біологічних об'єктах, вміст яких становить тисячні частки відсотка і менше. До них належать марганець, бор, молібден, цинк, мідь, кобальт, йод та ін. Ці елементи відіграють важливу фізіологічну та біохімічну роль в житті рослин, тварин та людини, так як входять до складу ферментів, гормонів вітамінів. Як нестача, так і надлишок мікроелементів викликає порушення нормальної життєдіяльності організмів.

**Марганець** бере активну участь у процесах фотосинтезу, входить до складу багатьох окислювально-відновних ферментів, регулює відношення між вмістом іонів  $Fe^{2+}$  та  $Fe^{3+}$ , впливає на синтез амінокислот, білків та вітамінів. Важливу роль цей елемент відіграє в засвоєнні рослиною амонійного та нітратного азоту, в перетвореннях нітратів, що відбуваються за схемою: **нітрати - нітрити - гідроксиламін - аміак - амінування (утворення амінокислот)**.

Видатний вчений - агрохімік П.А.Власюк показав, що рослини засвоюють марганець у формі  $Mn^{2+}$ . Винос цього елемента культурами коливається в межах 100-500 г/га.

**Бор**, що здатний утворювати комплексні сполуки з вуглеводами та поліатомними спиртами, дуже впливає на вуглеводний, білковий та нуклеїновий обмін рослин. Важливу роль цей елемент відіграє в заплідненні рослин, підсилює розвиток репродуктивних органів. Винос культурами бору складає від 30 до 270 г на 1 га.

**Цинк** входить до складу ряду ферментних систем (цитохромів, цитохромоксидаз та ін.). Як компонент карбоангідрази, він регулює головну фотохімічну реакцію темної стадії фотосинтезу та процеси дихання рослин.

**Молібден**, що є складовою частиною фермента нітратредуктази, як і марганець, забезпечує внаслідок співвідношення між іонами  $NO^-$  та  $NH^+$ . Молібден дуже важливий для бобових культур, концентрується в їх бульбочках. Він бере участь в утворенні аскорбінової кислоти, каротину, синтезі вуглеводів. Нестача його може проявлятися на кислих ґрунтах.

**Мідь** входить до складу ферментних систем поліфенолксидази, аскорбіноксидази та цитохромоксидази і активізує синтез вітамінів групи В. Нестача міді характерна переважно для мулуватих-болотних ґрунтів та торфовищ. Винос міді рослинами складає 10-170 г на 1 га.

На дерново-підзолистих ґрунтах всі види культур, особливо картопля, зернові, коренеплоди, трави найбільше можуть відчувати нестачу таких



мікроелементів як бор, мідь та молібден. На сірих лісових ґрунтах Українського Лісостепу нестачу бору та молібдену можуть відчувати цукрові буряки, зернобобові, меншою мірою - зернові. На чорноземах як Лісостепу, так і Степу деякі культури теж можуть відчувати недостатній вміст у ґрунті рухомих форм марганцю, бору та молібдену. Досліди УСГА на агростанції «Митниця» (Г.В.Назаренко) свідчать про ефективність внесення на чорноземах типових мікроелементу цинку. На темно-каштанових ґрунтах Сухого Степу досить ефективним буває удобрення зернових, кукурудзи і коренеплідних культур марганцем, бором та цинком.

Г.Я.Рінькіс запропонував градацію ґрунтів за вмістом рухомих форм мікроелементів в мг/кг:

- дуже бідні  $Si < 0,3$ ;  $Zn < 0,2$ ;  $Mn < 0,1$ ;  $Co < 0,2$ ;  $Mo < 0,05$ ;  $B < 0,1$ ;
- бідні  $Si < 1,5$ ;  $Zn < 1$ ;  $Mn < 10$ ;  $Co < 1$ ;  $Mo < 0,15$ ;  $B < 0,2$ .

На поведінку мікроелементів і форми їх сполук у ґрунтах дуже впливають окислювально-відновні умови, реакція середовища, вміст органічної речовини.

Підкислення реакції збільшує рухомість міді, цинку, марганцю та кобальту, але зменшує цю здатність для молібдену.

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Яка з фаз ґрунтів найбільш інертна?
2. Які мінерали називаються первинними, їх представники та значення у формування родючості ґрунту.
3. Перерахуйте групи вторинних мінералів ґрунту, назвіть їх представників та охарактеризуйте значення цієї групи мінералів у формуванні головних показників родючості ґрунту.
4. Типи четвертинних осадових порід .
5. Хімічний склад мінеральної частини ґрунту.

## РОЗДІЛ 2. ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД ТВЕРДОЇ ФАЗИ ГРУНТІВ

Відносний вміст у ґрунті (чи породі) механічних елементів (елементарних ґрунтових часток) називається **гранулометричним (механічним) складом**.

В мінеральних ґрунтах понад 90% ЕГЧ представлено компонентами неорганічної природи. Решта ЕГЧ - це органічні та органо-мінеральні сполуки. Механічні елементи можуть перебувати у ґрунті чи в породі як у вільному стані (як у гравію, чи піску) так і в агрегатному, тобто з'єднаними (склеєними) між собою в структурні окремість - грудочки, зерна і т.п. Агрегати ґрунту можуть бути різної форми, розмірів, міцності. Крупні агрегати при механічному зусиллі можуть розпадатися на механічні елементи, а мікро- агрегати (< 0,25 мм) досить міцні, оскільки механічні елементи в них склеєні колоїдами в стані гелю.

Властивості механічних елементів дуже залежать від їх розміру. Близькі за розміром частинки ґрунту об'єднують у фракцію. Таке групування називається **класифікацією механічних елементів**. Це групування здійснюється не випадково, а на основі відмінностей у водно-фізичних, хіміко-мінералогічних та інших властивостях механічних елементів.

Номенклатура та поділ механічних елементів на гранулометричні фракції були розроблені О.Н.Сабаніним та В.Р.Вільямсом і уточнені Н.А.Качинським (1965). Класифікація механічних елементів наведена в табл. 4.

М.М.Сибірцевим були запроваджені визначення, які широко використовуються і нині: всі частки розміром понад 1 мм називають **скелетом ґрунту**, а до 1 мм - **дрібноземом**. Останній, у свою чергу, поділяють на **фізичний пісок** і **фізичну глину**. До фізичного піску відносять суму всіх часток розміром 1-0,01 мм, а часточки менше 0,01 мм - до фізичної глини.

Таблиця 4.

### Класифікація механічних елементів (за Н.А.Качинським)

Фракції механічних елементів	Розмір часток, мм
Камені	>3
Гравій	3-1
Пісок:	
грубий	1-0,5
середній	0,5-0,25
дрібний	0,25-0,05
Пил:	
грубий	0,05-0,01
середній	0,01-0,005
дрібний	0,005-0,001
Мул:	
глинистий (грубий)	0,001-0,0005
колоїдний (тонкий)	0,0005-0,0001
Колоїди	<0,0001

Окремі фракції механічних елементів по-різному впливають на властивості ґрунту. Це пояснюється їх неоднаковим мінералогічним і хімічним складом та різними водно-фізичними й фізико-хімічними властивостями.

**Каміння** (>3 мм) складається переважно з уламків гірських порід, грубих зерен первинних мінералів. Наявність значної кількості таких часток у ґрунтах сільськогосподарського використання погіршує його агрономічні властивості. Присутність каміння в ґрунтах ускладнює їх обробіток, використання сільськогосподарських машин і знарядь, заважає появі сходів, розвитку та росту рослин тощо.

На слабокам'янистих ґрунтах прискорюється зношення робочої поверхні знарядь обробітку. Середньо- і дуже кам'яністі ґрунти, що утворилися на моренах і в гірських районах настільки кам'яністі, що потребують спеціальних меліоративних заходів.

**Гравій** (3-1 мм) складається переважно з уламків первинних мінералів. Наявність гравію в ґрунтах не перешкоджає обробітку, але якщо його вміст

високий, то це надає їм несприятливих властивостей - провальної водопро-  
никності, відсутності піднімальної здатності та дуже низької  
вологоємності. На суцільному гравію ріст більшості  
сільськогосподарських культур неможливий через низьку (< 3%)  
вологоємність.

**Піщана фракція** (1- 0,05 мм) складена з уламків первинних мінералів, і  
перш за все кварцу, рідше польових шпатів. Для цієї фракції характерна  
висока водопроникність, вона не набрякає, не пластична, не наділена  
вбирною здатністю та ефектом коагуляції. На відміну від гравію піщана  
фракція має вищу вологоємність, наділена малою висотою та великою  
швидкістю капілярного підняття води. Тому природні піски, особливо  
дрібнозернисті з вологоємністю понад 10%, придатні для вирощування  
сільськогосподарських культур.

**Фракція грубого пилу** (0,05- 0,01 мм) за мінералогічним складом мало  
відрізняється від піщаної (складається переважно з кварцу), тому їй прита-  
манні деякі властивості пісків. Вона слабо набрякає, не пластична, має  
невисоку вологоємність, але порівняно високу рухомість капілярної води.  
Ґрунти збагачені фракцією грубого пилу легко розпиляються, схильні до  
запливання, ущільнення, мають низьку водопроникність.

**Фракція середнього пилу** (0,01- 0,005 мм) містить підвищену кількість  
слюди, яка надає їй високої пластичності та зв'язності. Вона добре утримує  
вологу, але має невелику водопроникність, не здатна до колоїдних  
явищ(коагуляції та пептизації), не бере участі в утворенні структури  
ґрунту, не входить до складу вбирного комплексу. Ґрунти, збагачені на  
фракцію середнього пилу, схильні до запливання, ущільнення, утворення  
кірки та плуж-  
ної підшви. Їх водопроникність нерідко буває  
незадовільною. Структура таких ґрунтів недостатньо водотривка. Вона  
легко розпорошується при обробітку.

**Фракція дрібного пилу** (0,005 - 0,001 мм) складається з вторинних і  
найтонших уламків первинних мінералів. Характеризується відносно

високою дисперсністю, тому володіє рядом властивостей, які проявляються у більш грубих фракціях. У ній чітко виявляється здатність до коагуляції та структуроутворення. Фракція наділена вбирною здатністю і містить підвищену кількість гумусових речовин. Проте, при значному вмісті в ґрунтах у вільному стані, надає їм несприятливих агрономічних властивостей. Такі ґрунти мають низьку водопроникність, високе але повільне капілярне підняття, значний вміст недоступної вологи, високу здатність до набрякання у вологому стані та до зсідання, ущільнення і тріщинуватості у сухому. Містить хімічно зв'язану воду.

**Фракція мулу** (<0,001 мм) складена переважно з високодисперсних вторинних мінералів, а з первинних у ній зустрічаються кварц, ортоклаз, мусковіт. Характеризується високою вбирною здатністю, містить багато органічних речовин та елементів зольного і азотного живлення рослин; володіє здатністю до агрегації; характеризується низькою водопроникністю та слабкою водовіддачею; має велику здатність до набрякання і дуже виражену схильність до коагуляції. Колоїдній частині даної фракції належить особливо важлива роль у структуроутворенні. В коагульованому стані вона забезпечує ґрунтам добру структурність, водопроникність, аерацію, малу здатність до прилипання, а у диспергованому - несприятливі фізичні, фізико-механічні та водні властивості.

В основу класифікації ґрунтів за гранулометричним складом покладено співвідношення різних фракцій. Найпоширенішою при ґрунтово-географічних і ґрунтово-агрономічних дослідженнях є класифікація ґрунтів за механічним складом, яку розробив Н.А.Качинський (табл. 5). Вона побудована на співвідношенні фракцій фізичної глини (сума часток <0,01 мм) і фізичного піску (сума часток від 1 до 0,01 мм), тому отримала назву **двочленної**. В даній класифікації група ґрунту за механічним складом встановлюється за вмістом фізичної глини.

**Класифікація ґрунтів за механічним складом  
(Н.А.Качинський, 1965)**

Група ґрунту за механічним складом	Вміст фізичної глини (частки <0,01 мм), %		
	Ґрунти підзолистого типу ґрунтоутворення	Ґрунти степового типу ґрунтоутворення	Солонці та сильно солонцюваті ґрунти
Пісок пухкий	0-5	0-5	0-5
Пісок зв'язний	5-10	5-10	5-10
Супісок	10-20	10-20	10-15
Суглинок легкий	20-30	20-30	15-20
Суглинок середній	30-40	30-45	20-30
Суглинок важкий	40-50	45-60	30-40
Глина легка	50-65	60-75	40-50
Глина середня	65-80	75-85	50-65
Глина важка	>80	>85	>65

Додатково поділ ґрунтів на підгрупи проводиться за співвідношенням фракцій: гравію (3-1 мм), піску (1-0,05 мм), грубого пилу (0,05-0,01 мм), пилу (0,01-0,001 мм) і мулу (< 0,001 мм).

У назві ґрунту за механічним складом підкреслено його основну групу (пісок, супісок, суглинок, глина) і підгрупу за вмістом двох вищеназваних фракцій, при цьому на останнє місце ставиться назва переважаючої фракції.

Наприклад, темно-каштановий ґрунт містить фізичної глини - 62,1%; піску - 7,8; грубого пилу - 29,1; пилу - 28,4; мулу - 32,7%. За вмістом фізичної глини (62,1%) даний ґрунт належить до легких глин. Серед фракцій переважають частки грубого пилу (29,1%) і мулу (32,7%). Отже, повна назва ґрунту за механічним складом буде така: легкоглинистий грубопилувато- мулуватий.

Кам'янистість ґрунтів враховують і класифікують залежно від вмісту часток розміром > 3 мм (табл. 6).

Таблиця 6.

**Класифікація ґрунтів за кам'янистістю (Н.А.Качинський, 1965)**

Частки 3 мм, %	Ступінь кам'янистості ґрунтів	Тип кам'янистості
<0,5	Некам'янистий	Встановлюється за характером скелетної частини
0,5-5	Слабокам'янистий	
5-10	Середньо-кам'янистий	ґрунти можуть бути валунні, рінякові, щебнисті
>10	Сильно-кам'янистий	

На існуючій до цього часу карті ґрунтів України, яку було складено в 1972 р. механічний склад ґрунтів позначено згідно із класифікацією та номенклатурою М.М.Годліна (табл. 7).

Ця класифікація відноситься до тричленної, бо в ній при визначенні механічного складу ґрунту враховують три фракції механічних елементів: мулисту (<0.001 мм), грубого пилу (0,05-0,01 мм) та піщану (1-0,25 мм).

За класифікацією М.М.Годліна виділяють наступні групи ґрунтів за механічним складом: піщані, супіщані, піщано-суглинкові, грубопилувато-суглинкові, пилувато-суглинкові та глинисті.

Для розподілу груп ґрунтів за механічним складом на підгрупи враховують додаткові показники:

- в піщаних ґрунтах вміст часток розміром >0,25 мм (піску) - >50%;
- в пилувато-піщаних ґрунтах часток розміром >0,25 мм (піску) - < 50%;
- в глинисто-піщаних ґрунтах часток розміром <0.001 мм (мулу) - від 2 до 5%;
- в грубопилувато-суглинкових ґрунтах часток розміром 0,05-0,01 мм (грубого пилу) - > 50%;

Таблиця 7.

## Класифікація ґрунтів за механічним складом (за М.М.Годліним, 1972)

Група ґрунту	Підгрупа ґрунту	Частки >0,05 мм		0,05-0,01 мм	Частки <0,01 мм	
		% всієї фракції	1-0,25	грубий піл	% всієї фракції	<0,001мм мул
Піщаний	Піщаний	> 90	> 50	< 6	< 6	< 2
	Пилувато-піщаний	> 90	< 50	< 6	< 6	< 2
	Глинисто-піщаний	> 75	< 25	< 15	< 15	3 ± 1
Супіщаний	Супіщаний	> 40	> 20	30-45	10-20	7 ± 3
	Піщано-супіщаний	> 45	> 20	20-35	10-20	7 ± 3
	Пилувато-супіщаний	> 25	< 10	40-60	10-25	7 ± 3
Піщано-суглинковий	Піщано-легко-суглинковий	> 30	-	10-30	25-40	15 ± 4
	Піщано-середньо-суглинковий	> 20	-	20-40	35-50	25 ± 5
	Піщано-важко-суглинковий	> 10	-	20-40	45-60	35 ± 4
Грубо пилувато-суглинковий	Легко суглинковий	> 25	-	55-65	20-35	15 ± 4
	Середньо-суглинковий	< 15	-	50-60	30-50	25 ± 5
Пилувато-суглинковий	Пилувато-легко-суглинковий	< 20	-	40-50	30-45	14 ± 4
	Пилувато-середньо-суглинковий	< 10	-	40-45	40-55	22 ± 3
	Пилувато-важко-суглинковий	< 5	-	30-40	50-65	30 ± 4
Глинистий	Глинистий	< 10	-	< 35	60-80	40 ± 5
	Важко-глинистий	< 10	-	< 25	70-90	> 45
	Піщано-глинистий	> 10	-	< 30	60-80	45 ± 5



- в пилувато-суглинкових ґрунтах переважають елементи пилу (0,05-0,001 мм), з них часток грубого пилу (0,05-0,01 мм) - <50%;
- в піщано-суглинкових ґрунтах часток розміром >0,05 мм (піску і піщаного пилу) - >10%;
- в піщано-глинистих ґрунтах часток розміром >0,05 мм - >10%.

Для визначення назви ґрунту за гранулометричним складом згідно класифікації М.М.Годліна починають вміщувати отримані дані вмісту часток розміром < 0,001 мм (мулу), потім часток розміром 0,05-0,01 мм (грубого пилу) і, в останню чергу, вміст піщаної фракції (1-0,05). Тобто спочатку визначають групу ґрунту за механічним складом, а потім підгрупу.

В основу поділу ґрунтів за механічним складом на легкі, середні та важкі покладено міру легкості чи важкості їх обробітку сільськогосподарськими знаряддями. До легких відносять - піщані й супіщані ґрунти, до середніх - легкі та середні суглинки, а до важких - важкі суглинки й глини.

**Легкі ґрунти** (піщані й супіщані) - легко піддаються обробітку; безструктурні; мають високу водопроникність; сприятливий повітряний і тепловий режими, але бідні на гумус, азот і зольні елементи; мають невелику ємність катіонного обміну; низьку вологоємність. Їм часто притаманна підвищена кислотність.

**Важкі ґрунти** (важкі суглинки та глини) - при обробітку чинять значний опір і потребують великих енергозатрат; вони мають високу вологоємність і низьку водовіддачу; характеризуються несприятливими тепловими властивостями (холодні ґрунти); у безструктурному стані запливають і утворюють кірку.

В агрономічному відношенні найкращими за гранулометричним складом є **середні ґрунти** (легко- і середньосуглинкові, особливо пилувато-суглинкові).

## ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Гранулометричний склад ґрунту.
2. Властивості та мінералогічний склад фракцій механічних елементів
3. Класифікація механічних елементів за Н.А. Качинським.
4. Двочленна та тричленна класифікації ґрунтів і порід за гранулометричним складом.
5. Поняття про важкі, середні та легкі ґрунти

### РОЗДІЛ 3. АГРЕГАТНИЙ СКЛАД ҐРУНТІВ (СТРУКТУРА ҐРУНТУ)

Сучасний стан вчення про структуру ґрунтів базується на працях класиків ґрунтознавства П.А.Костичева, В.Р.Вільямса, К.К.Гедройца. Останній тривалий час працював в Україні. Крім того, теоретичні основи структуроутворення та агрономічне значення структури знайшли відображення в працях А.Г. Дояренка, Н.А.Качинського, М.І.Саввінова, П.В.Вершиніна, М.М. Годліна, І.Б. Ревута, Е.Рассела, В.В.Медведєва, А.Я.Демидієнка та ін.

Не слід змішувати поняття «структура» та «структурність» ґрунту.

**Структурністю** називається здатність ґрунту розпадатися на окремість різного розміру та форми. Структурою називаються ці самі окремість (грудки, зерня, горіхи, брили, призми та ін.), що складаються з механічних елементів, зцементованих між собою.

**Структура** - дуже істотна властивість ґрунтів, яка визначає ряд інших їх властивостей, дуже впливає на родючість ґрунту. Оскільки будь-яка структурна окремість (агрегат) складається із скріплених (зцементованих) між собою механічних елементів, то структура (як властивість) спостерігається лише в суглинкових та глинистих ґрунтах. В піщаних та супіщаних ґрунтах механічні елементи звичайно перебувають у розділеночастковому стані.

У ґрунтознавстві прийнято розрізняти та виділяти два поняття щодо структури ґрунту:

- ґрунтово-генетична (морфологічна) структура;
- агрономічно цінна структура

#### **Ґрунтово-генетична (морфологічна) структура**

Розглядаючи структуру, як морфологічну ознаку ґрунту, перш за все беруть до уваги форму, розмір та якісний стан агрегатів в окремих типах ґрунтів, а також в різних генетичних горизонтах одного і того ж ґрунту, де вони є неоднаковими.

За класифікацією С.О. Захарова (1931), виділяють такі типи та роди структури ґрунту:

1. **Округло-кубовидна** структура при більш-менш рівномірному розвитку агрегатів за трьома осями простору. Характерна для гумусових, орних та верхньої частини ілювіальних горизонтів. У межах цього типу виділяють 7 родів структури:

брилиста – неправильна форма з нерівною поверхнею агрегатів, характерна для оглеєних, злитих та виораних горизонтів;

грудкувата – округла форма з шорсткою поверхнею без виражених ребер та граней, характерна для гумусових горизонтів;

пилувата – найдрібніші агрегати, форму яких важко визначити неозброєним оком, характерна для виораних та елювіальних горизонтів;

горіхувата – більш-менш правильні агрегати з гострими ребрами, які нагадують букові горішки, характерна для верхніх ілювіальних горизонтів;

зерниста – більш-менш правильна форма з вираженими гранями і ребрами, які нагадують гречану крупу, характерна для гумусових горизонтів лучно-степових та степових ґрунтів;

конкреційна – суцільне накопичення округлих конкрецій;

ікр'яна – дрібні, різної форми, але добре оформлені агрегати зливаються у суцільну масу.

2. **Призмovidна** структура за вираженого розвитку агрегатів по вертикальній осі, характерна для ілювіальних горизонтів та суглинкових ґрунтоутворних порід. Виділяють три роди цієї структури:

стовпчаста – правильної форми окремоті з добре вираженими вертикальними гранями, округлої форми та нерівною основою, характерна для солонцевих та злитих горизонтів;

призмovidна – окремоті слабо оформлені, з нерівними шкаралупчастими гранями, гострими вершинами, заокругленими ребрами,

характерна для нижньої частини ілювіальних горизонтів та ґрунтоутворних порід суглинкового гранулометричного складу;

призматична – грані і ребра призм чітко виражені, характерна для ілювіальних горизонтів ґрунтів.

3. *Плитовидна* структура при розвитку агрегатів переважно горизонтальними осями простору, характерна для елювіальних горизонтів ґрунтів. Виділяють два роди цієї структури:

плитчаста – з більш-менш розвинутими плоскими горизонтальними поверхнями спайності;

лускувата – з невеликими, дещо увігнутими поверхнями спайності.

Залежно від розміру структурних окремоостей виділяють такі групи структури (за П.В.Вершиніним):

- брилиста - понад 10 мм;
- макроструктура 10-0,25 мм;
- груба мікроструктура 0,25-0,01 мм;
- тонка мікроструктура - менш 0,01 мм;

Стосовно факторів утворення структури О.Н.Соколовський висловлювався чітко: «де немає двох моментів - ґрунтових колоїдів і кальцію - там не має і скільки-небудь оформлених агрегатів. Факторами структури є насамперед колоїди ґрунту. Проте колоїдна частина може склеювати частинки ґрунту лише в тому випадку, якщо вони в достатній мірі насичені кальцієм».

Механічні елементи, злипаючись один з одним або цементуючись мінеральними та органічними колоїдами, утворюють мікроагрегати. Мікроагрегати формуються також і в результаті взаємного осадження ґрунтових колоїдів, при їх коагуляції під впливом електролітів. Мікроагрегати з'єднуються між собою, дають макроагрегати. Утворення агрегатів відбувається не тільки під час ґрунтоутворення, а вже з моменту формування материнських порід. Проте тільки процес ґрунтоутворення здатний породити те, що називається структурою ґрунту.

## Агрономічно цінна структура ґрунту

В утворенні агрономічно цінної структури можна виділити два основних процеси: розчленування ґрунту на агрегати (зерніння ґрунту) та виникнення водотривкості агрегатів.

О.Н.Соколовський писав про це так: «Маса ґрунту під впливом змінного зволоження і висихання, то, набрякаючи, збільшується в об'ємі, то навпаки, зсихаючись, розтріскується, розсипається на окремі грудочки. Кількість і ширина тріщин залежить від того, чим насичена маса ґрунту. При насиченні його натрієм утворюється суцільна маса, яка лише при сильному внутрішньому напруженні розбивається на широкі, з невеликою кількістю тріщин, крупні багатогранні окремоті - полігони. Навпаки, ґрунт і материнська порода, насичені кальцієм, при тих же умовах розпадаються волосиноподібними тріщинками на величезну кількість діляночок - невеликих грудочок. Це можна спостерігати на полях з раннім паром на чорноземі, де утворені під час пізньої оранки брили через 2-3 години вже легко кришаться, розпадаючись на структурні грудочки».

Розчленування ґрунту на агрегати відбувається і внаслідок розвитку кореневої системи рослин, діяльності ґрунтових тварин, під впливом періодичного зволоження та висушування, а також обробітку.

Корені рослин густою сіткою пронизують ґрунт у всіх напрямках, розділяють його на грудочки, ущільнюють, скріплюють собою механічні елементи. Ідеальна структура характерна для цілинних ґрунтів, особливо під степовою рослинністю, де вміст макроагрегатів досягає 93%, за умови вмісту структурних окремотей розміром від 5 до 1 мм, які є найбільш агрономічно цінними, в кількості не менше 60 % (дані П.В.Вершиніна).

Дуже цінними є копроліти дощових черв'яків. Вони мають високу пористість, водотривкі, містять більше елементів живлення і мають більш сприятливу реакцію порівняно із масою навколо цього ґрунту.

Ґрунт може розпадатися на агрегати і в результаті промивання та відтаювання. Вода при замерзанні, збільшуючись в об'ємі тисне на стінки пор, зближує і ущільнює ґрунтові частки. Ще краще відбувається оструктурювання при проморожуванні ґрунту з вологістю 60-90% від повної вологоємності. Але структура, що при цьому утворюється, не має водотривкості. Проморожування надмірно вологих ґрунтів руйнує структуру, а сухих - не покращує її.

Вплив механічного обробітку (оранки, культивації, боронування) може бути як позитивним, так і негативним. Умови зволоження повинні бути оптимальними. Обробіток ґрунту слід проводити лише в умовах його фізичної стиглості.

Агрономічну цінність структури визначають за наступними показниками агрегатів ґрунту:

- розмір та форма;
- водотривкість та механічна міцність;
- пористість

М.І. Саввінов запропонував класифікацію агрономічно цінних агрегатів (табл. 8), яка в теперішній час є загальноприйнятою в Україні.

Таблиця 8.

**Класифікація агрономічно цінних структурних агрегатів ґрунту(за М.І.Саввіновим)**

<b>Рід окремостей</b>	<b>Вид окремостей</b>	<b>Розмір (діаметр), мм</b>
Брилиста частина ґрунту (окремості понад 10 мм у діаметрі)	Брили:    грубі	>100
	середні	100-30
	дрібні	30-10
Грудочкувата частина ґрунту (окремості розміром 10-0,25 мм у діаметрі)	Грудочки:  грубі	10-3,0
	середні	3,0-1,0
	дрібні	1,0-0,5
	зернисті елементи	0,5-0,25
Пилувата частина ґрунту (окремості менше 0,25 мм у діаметрі)	Мікроструктурні елементи	0,25-0,01
	Пилувато-глинисті частки	<0,01

Оцінку структурного стану ґрунту за вмістом повітряносухих агрономічно цінних агрегатів здійснюють за шкалою С.І. Долгова та П.У. Бахтіна (табл. 9).

Таблиця 9.

**Оцінка структурного стану ґрунту**

<b>Вміст агрегатів 0,25-10 мм, % від маси повітряно-сухого ґрунту</b>	<b>Структурний стан</b>
>80	Відмінний
80-60	Добрий
60-40	Задовільний
40-20	Незадовільний
<20	Поганий

В агрономічному відношенні найбільше значення має грудкувата та зерниста макроструктура поверхневого (орного) шару ґрунту. Оптимальний розмір її знаходиться в межах від 1 до 5 мм. Слід зауважити, що в надмірно вологих ґрунтах оптимальним розміром окремоостей є 5-10 мм, а в ґрунтах посушливих районів - 2 мм. У першому випадку крупна макроструктура забезпечує кращий водно-повітряний режим, а в другому - дрібні макро- агрегати (близько 2 мм), що при достатній аерації ґрунту добре зберігають вологу і, одночасно, є стійкими проти ерозії (розмиву), захищають ґрунт і від дефляції (вітрової ерозії).

Слід зазначити, що не тільки макро-, а й мікроагрегати, особливо розміром від 0,25 до 0,05 мм, мають позитивний вплив на родючість ґрунту. Але якщо в ґрунті є тільки вони, а немає агрегатів макроструктури, то це не забезпечить сприятливих властивостей ґрунту, а навпаки - погіршить їх.

Оцінку структурного стану ґрунту за вмістом водотривких агрегатів здійснюють за шкалою (табл. 10).



**Оцінка структурного стану ґрунтів за вмістом водотривких агрегатів**

<b>Сума водотривких агрегатів розміром понад 0,25 мм, % від маси повітряносухого ґрунту</b>	<b>Водотривкість агрегатів</b>
<10	Відсутня
10-20	Незадовільна
20-30	Недостатньо задовільна
30-40	Задовільна
40-60	Добра
60-75	Відмінна
>75	Надмірно висока

Найбільш водотривка агрономічно цінна структура формується за участю гумусових речовин типу гумінових кислот, глинистих мінералів групи монтморилоніту та гідролюд.

Гумінові кислоти з 2- і 3-валентними катіонами дають нерозчинні гумати, які і служать міцним цементом при утворенні агрономічно цінної структури.

Таким чином в формуванні водотривкої макроструктури головну роль відіграють такі процеси:

- фізико-механічні;
- фізико-хімічні;
- хімічні;
- біологічні.

**Фізико-механічні фактори** обумовлюють процес подрібнення маси ґрунту при поперемінному висушуванні та зволоженні, замерзанні та відтаненні ґрунту, тиску коренів рослин, діяльності тварин та знарядь обробітку.

**Фізико-хімічні фактори** - це коагуляція та цементуюча дія колоїдів ґрунту. Щоб окремі частинки не розпливались при дії води, колоїди повинні бути скоагульовані незворотно. Коагуляторами в ґрунті найчастіше служать катіони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ . Слід зазначити, що при дії на колоїди одновалентних катіонів, особливо  $\text{Na}^+$ , незворотної коагуляції не відбувається і водотривка структура не утворюється. Навпаки, катіон  $\text{Na}^+$ , як видно з генезису солонців, активізує руйнування структури.

Органічні колоїди, зокрема гумат кальцію, найбільш міцно скріплює мікроагрегати і механічні елементи ґрунту в водотривку макроструктуру. Самі лише мінеральні колоїди, без гумусових речовин не здатні створити водотривкої структури. Певна роль у склеюванні та цементації грудочок ґрунту належить і чисто **хімічним факторам**. До них слід віднести утворення різноманітних важкорозчинних хімічних сполук: вуглекислого кальцію, гідроксиду заліза, силікатів магнію та ін., які вбираючись агрегатами ґрунту, цементують їх, а також агрегатують окремі механічні елементи.

Основна роль в утворенні структури належать біологічним факторам, тобто рослинності та організмам, що мешкають у ґрунті. Рослини механічно розділяють і ущільнюють ґрунт, беруть головну участь в утворенні гумусу.

Багаторічна трав'яниста рослинність проявляє найбільш сильну оструктурюючу дію. Вона має дуже розгалужену кореневу систему, яка після відмирання та розкладу утворює велику кількість зв'язаного з кальцієм гумусу. Саме тому лучні, лучно-чорноземні та чорноземні ґрунти добре оструктурені. Діяльність червів та утворення копролітів теж належить до біологічного фактора. Не слід забувати і про продукти життєдіяльності та автолізу мікроорганізмів, які теж є цементуючими речовинами.

Сукупна дія факторів утворення структури нерозривно пов'язана з природними умовами ґрунтоутворення.

М.І.Саввінов дослідив водотривкість макроструктури верхнього горизонту цілинних ґрунтів різних зон. Найвищою вона виявилась в ґрунтах чорноземної зони, де всі фактори утворення структури перебувають в оптимумі. На північ і на південь від цієї зони водотривкість структури зменшується. Це пов'язано з погіршенням умов для розвитку трав'янистої рослинності, зменшенням вмісту гумусу, наявністю катіонів  $\text{Na}^+$  та  $\text{H}^+$  за рахунок зменшення  $\text{Ca}^{2+}$  у складі вбирного комплексу ґрунту та рядом інших причин.

**За структурним станом** ґрунти можна поділити на три групи, які різко відрізняються між собою за водно-фізичними властивостями:

- безструктурні;
- слабоструктурні;
- структурні.

До безструктурних належать піщані та супіщані ґрунти, які у своєму складі мають менше 10% мулистих часток, їх ґрунтовий вбирний комплекс ненасичений основами, а вміст гумусу не перевищує 1%. За таких умов елементарні ґрунтові частки майже не утворюють агрегатів, тому ці ґрунти характеризуються високою водопроникністю, низькою вологоємністю, мають підвищену щільність і недостатньо забезпечені елементами живлення для рослин.

До слабоструктурних належать піщано- та грубопилуваті легко- і середньосуглинкові ґрунти, які містять понад 50% піщаних і грубопилуватих часток. Вміст мулу в них становить 10-20%, а гумусу – 1-3%. У таких ґрунтах водотривких агрегатів до 50%, тому вони мають недостатню пористість і вологоємність, у більшості незадовільну водопроникність, здатні до запливання, ущільнення і утворення ґрунтової кірки.

До структурних належать пилувато-середньосуглинкові, важкосуглинкові і глинисті ґрунти, в яких мулу понад 20%, піщаних та грубопилуватих часток до 50%, їх ґрунтовий вбирний комплекс насичений

основами, а вміст гумусу становить понад 3%. У таких ґрунтах водотривких агрегатів понад 50%. Вони мають достатню пористість, добру вологоємність і високу водопроникність, добре забезпечені елементами живлення рослин.

Структурний ґрунт, порівняно із безструктурним, має пухке складення, меншу щільність та більшу пористість. Якісний склад пор теж інший. В безструктурному ґрунті пори дрібні - капілярні. В структурному ґрунті поряд з капілярними є й крупні пори, як між агрегатами, так і всередині їх, які заповнені повітрям.

Структурний ґрунт менше випаровує (і втрачає) вологи, ніж безструктурний. Великий вплив має структура на повітряємність ґрунту, його проникність до повітря.

В безструктурному ґрунті при достатньому вмісті вологи корені рослин та аеробна мікрофлора страждають від нестачі вільного кисню, а за достатнього вмісту повітря - навпаки, від нестачі вологи.

Волога атмосферних опадів повільно вбирається безструктурним ґрунтом. Весною, під час танення снігу і при сильних зливах велика кількість води на схилах стікає по поверхні ґрунту, втрачається і викликає ерозію.

В структурному ґрунті немає антагонізму між водою і повітрям. При достатній кількості доступної для рослин вологи в структурному ґрунті міститься і оптимальна кількість повітря.

Структурні ґрунти більш стійкі до водної та вітрової ерозії. Пухке (структурне) складення ґрунту сприяє кращому проростанню насіння, поширенню коренів рослин у ґрунті. Безструктурний ґрунт після зволоження запливає, при підсиханні ущільнюється, утворює кірку, в якій утруднюється проростання насіння. Діапазон оптимальної вологості ґрунту для його обробітку є більш широким у структурному ґрунті порівняно з безструктурним.

Зазначені особливості якраз і обумовлюють більш високу родючість структурних ґрунтів. Не слід забувати і про те, що структурний ґрунт вимагає менших енергетичних затрат на обробіток.

Дуже важливим фактором агрономічної цінності структури є її пористість, тобто відсоток порожнин від об'єму структурного агрегату. В чорноземах високої родючості пористість агрегатів досягає 50% від їх об'єму. Це забезпечує сприятливі водно-повітряні властивості цих ґрунтів. Чим нижча пористість агрегатів, тим менше міститься в ґрунті продуктивної вологи і повітря, тим гірші умови для росту і розвитку рослин.

### **Знеструктурення**

Схильність ґрунту до втрати агрономічно корисної структури можна оцінити за допомогою 2-х критеріїв – кількості пилюватих мікроагрегатів, які утворюються під час структурного аналізу і за фактором дисперсності. Останній за Качинським розраховується як співвідношення фракцій <0,001 мм, здобутих при мікроагрегатному і гранулометричному аналізах. Якщо фактор дисперсності перевищує 8-10, звичайно стверджують про природно або штучно зменшені можливості до утворення агрономічно корисної структури. Приблизно на 20% ріллі країни через різні причини утворення структури гальмується, а приблизно на половині площі за обробітку ґрунту у пересушеному стані (в процесі аналізу імітується подібний вплив на ґрунт) може утворитись більше 10% пилу. За Д.І. Буровим (1954), цієї кількості пилу достатньо, щоб суттєво понизити агрономічно важливі властивості кореневмісного шару ґрунту.

Підкреслимо, що схильними до знеструктурення у найбільшій мірі є найкращі, за Н.А. Качинським, чорноземи типові середньосуглинкового гранскладу Лісостепу.

Структурно-агрегатний склад ґрунтів в умовах довготривалої оранки зазнає значних змін: зменшується кількість агрономічно корисної фракції, її водостійкість, механічна міцність, збільшується брилистість. Вміст агрономічно корисної фракції (10,0-0,25 мм) визначає якість

кришіння ґрунту під час обробітку. Із 30 млн. га орних земель України біля 70 % (21,3 млн. га) вміщують 60 % та вище агрономічно-корисних агрегатів (розміром 10,0-0,25 мм) - це чорноземи типові південної частини Лісостепу і чорноземи звичайні північного Степу важкосуглинкового гранскладу. У той же час чорноземи типові, опідзолені й темно-сірі ґрунти легкосуглинкового гранскладу в північній і північно-західній частинах Лісостепу(у перехідній зоні до Полісся) після обробітку мають набагато гірші показники кришіння в агрономічному розумінні (40-50 %).

Імовірність утворення брил (макроагрегатів розміром більше 10 мм) під час обробітку на орних ґрунтах України є досить високою і сягає 12 %, або близько 3,5 млн. га.

Найбільшою схильністю до утворення брил характеризуються солонцюваті ґрунти важкого гранскладу, основний обробіток яких здійснюється переважно в пересушеному стані, осолоділі і солонцюваті ґрунти Середнього Придніпров'я, еродовані ґрунти Правобережного Лісостепу, оглеєні ґрунти Передкарпаття і Закарпаття, ґрунти розташовані у зоні південного і Сухого Степу.

Якщо використати як припустимий параметр утворення брил за основного обробітку у 30 %, то ґрунти майже на 12 % площі ріллі країни мають високу схильність, яку не можна припускати. За передпосівного обробітку — це 82,8 %.

Значна присутність брил в орному і, особливо, посівному шарі - ознака деградованості давньоорних ґрунтів, наслідок гальмування процесів агрегації, головним чином, через втрату гумусу і декальціювання.

У цілому, оптимальні умови для обробітку й одержання найкращої якості ріллі відзначаються у відносно невеликому (2,56 млн. га) просторі Центрального й Лівобережного Лісостепу, де поширені чорноземи типові й опідзолені легко- та середньосуглинкового складу, помірно гумусовані, з високим потенціалом і фактичним рівнем агрегації.

Помірно виражені міцнісні показники й досить тривалий період з вологістю фізичної спілості дозволяють обробляти їх у період найкращого кришіння з мінімальними витратами енергії. Більше того, тут є всі можливості мінімізувати обробіток і навіть повністю відмовитися від нього, тобто, тим самим мінімізувати механічне навантаження на ґрунт і захистити його від фізичної деградації. У цьому випадку небезпека переущільнення, розпилення й утворення брил усувається. Крім того, тут практично не діють чинники, що ускладнюють обробіток (щебенюватість, солонцюватість і оглеєність)

Однак, поряд з високою оцінкою ріллі, доводиться констатувати, що в Україні цілком достатньо інших менш цінних територій. Навіть у Поліссі, де домінують ґрунти легкого гранулометричного складу, обробіток яких не створює будь-яких істотних труднощів, ґрунтово-технологічні умови, проте, оцінено як важкі й дуже важкі. Причина - у надзвичайно високій рівноважній щільності будови, дуже низькому потенціалі й фактичному рівні агрегації, існуванні небезпеки розпилення і досить частій присутності в поверхневому шарі оглеєності.

Також строкаті ґрунтово-технологічні умови в Степу, причому їхня складність чітко зростає до півдня і сходу. У цілому можливості для ощадливого і якісного обробітку ґрунтів у цій зоні незрівнянно гірші, ніж у Лісостепу.

#### **Оцінка якості структури за результатами визначення гранулометричного та мікроагрегатного складу ґрунту**

За даними гранулометричного аналізу дають оцінку *потенціальної здатності ґрунтів до агрегації*. З цією метою О.Ф. Вадюніна пропонує розраховувати гранулометричний показник структурності. При цьому *механічні елементи поділяють на активні та пасивні. Активні (частки мулу і дрібного пилу) – мають здатність до цементації і беруть участь у процесах коагуляції. Пасивні (частки середнього і грубого пилу) – беруть участь у структуроутворенні як пасивний матеріал.*

У гумусних ґрунтах активну участь у коагуляції беруть частки мулу і більша частина дрібного пилу. В малогумусних ґрунтах до активних часток відноситься лише мул. Розрахунки виконують за такими формулами:

$$\text{для гумусних ґрунтів (> 4\% гумусу)} \quad K_C = \frac{M + \Pi_M}{\Pi_C + \Pi_G} \cdot 100$$

$$\text{для малогумусних ґрунтів (< 4\% гумусу)} \quad K_C = \frac{M}{\Pi_C + \Pi_G + \Pi_M} \cdot 100$$

де  $K_C$  – гранулометричний показник структурності, %;  $M$  – вміст мулу, %;  $\Pi_M$ ,  $\Pi_C$ ,  $\Pi_G$  – вміст дрібного, середнього і грубого пилу, %; 100 – для перерахунку в проценти.

Чим вищий гранулометричний показник структурності, тим більшу потенційну здатність до оструктурування має ґрунт.

Співвідношення результатів мікроагрегатного і гранулометричного складу дозволяє судити про потенціальну здатність ґрунтів до агрегації та водотривкість агрегатів.

**Фактор дисперсності** за Н.А.Качинським характеризує ступінь руйнування мікроагрегатів у воді і являє собою процентне відношення мулу “мікроагрегатного”, до мулу “гранулометричного”. Розраховують його за формулою:

$$K_D = \frac{M_M}{M_G} \cdot 100$$

де  $K_D$  – фактор дисперсності, %;  $M_M$  – вміст мулу при мікроагрегатному аналізі, %;  $M_G$  – вміст мулу при гранулометричному аналізі, %; 100 – для перерахунку в проценти.

Якщо  $K_D$  менше 10% - ґрунт слабодиспергований; 10-20% - середньо- і понад 20% - сильнодиспергований. Отже, чим вищий  $K_D$ , тим вищий ступінь руйнування мікроагрегатів.

Фактор дисперсності чорноземів не перевищує 10%, каштанових ґрунтів - 10-20%, у солонців він може підвищуватись до 60-80%.



**Фактор структурності** за Фогелером *характеризує водотривкість агрегатів*. Розраховується за формулою:

$$K_C = \frac{(M_G - M_M) \cdot 100}{M_G}$$

де  $K_C$  – фактор структурності, %;  $M_G$  – вміст мулу при гранулометричному аналізі, %;  $M_M$  – вміст мулу при мікроагрегатному аналізі, %; 100 – для перерахунку в проценти.

Якщо  $K_C$  понад 90% – ґрунт добре агрегований, 80-90% - середньо і менше 80% - слабоагрегований.

**Ступінь агрегованості** за Бейвером і Родесом розраховують за формулою:

$$K_a = \frac{(a - v) \cdot 100}{a}$$

де  $K_a$  – ступінь агрегатності, %;  $a$  – кількість мікроагрегатів розміром понад 0,05 мм при мікроагрегатному аналізі, %;  $v$  – кількість механічних елементів розміром понад 0,05 мм при гранулометричному аналізі, %; 100 – для перерахунку в проценти.

Підвищення ступеня агрегатності вказує на поліпшення водотривкості структури ґрунту.

### **Заходи по створенню та збереженню агрономічно цінної структури**

Структура ґрунту динамічна. Вона руйнується і відновлюється під впливом певних факторів. Управління ними дозволяє підтримувати ґрунт в необхідному структурному стані. Серед причин втрати структури найбільш істотними є такі:

- механічне руйнування;
- фізико-хімічні явища;
- біологічні процеси.

Перша з цих причин - **механічне руйнування** викликається обробіткою ґрунту, рухом по його поверхні машин та знарядь, людей, тварин; ударами дощових крапель. Зменшити механічне руйнування структури можна

шляхом обробітку ґрунту в стані його фізичної спілості, а також мінімалізацією цього обробітку, впровадженням ґрунтозахисних сівозмін.

Заміна двовалентних катіонів у ГВК ґрунту на одновалентні (натрію, амонію, калію) викликає пептизацію колоїдів (переважно гуматів), які цементують механічні елементи та мікроагрегати, що зумовлює руйнування структурних окремоостей. В цьому полягають **фізико-хімічні причини** втрати структури. Прямий вплив на склад увібраних катіонів ґрунту шляхом його хімічної меліорації дає змогу частково відновити втрачену структуру.

**Біологічні причини руйнування структури** пов'язані з процесами мінералізації гумусу. Відновлення і збереження структури в умовах сільськогосподарського використання ґрунтів здійснюються агротехнічними заходами: посівом багаторічних трав, за допомогою штучних оструктурювачів, внесенням органічних та мінеральних добрив. Добрива збільшують не лише врожайність культур, а і їх кореневу масу, підсилюючи цим оструктурювальну роль рослинності.

Роль багаторічних трав в створенні агрономічно цінної структури на орних ґрунтах відома давно. Під багаторічними, травами (бобовими чи бобово-злаковими травосумішами) утворюються значно більше водотривких агрегатів, ніж під однорічними культурами.

Крім цього, для збереження структури ґрунту набагато ефективнішими та економічно обґрунтованішими є прості організаційні та агротехнічні заходи, такі як сидерація, внесення органічних добрив та кальцієвмісних меліорантів, а також впровадження органічного та біодинамічного агропромисництва на території землекористувань сільськогосподарського спрямування. Очевидно, що набагато дешевше було б взагалі не руйнувати структурних агрегатів, щоб потім не доводилося їх відновлювати такою дорогою ціною.

## ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Поняття про структуру та структурність ґрунту
2. Ґрунтово-генетична (морфологічна) структура
3. Оцінку структурного стану ґрунту за вмістом повітряносухих та водотривких агрономічно цінних агрегатів
4. Фактори, умови та механізми формування агрономічно цінної структури.
5. Оцінка якості структури за результатами визначення гранулометричного та мікроагрегатного складу ґрунту
6. Заходи по створенню та збереженню агрономічно цінної структури ґрунту.

## РОЗДІЛ 4. ЗАГАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

До загальних фізичних властивостей ґрунту належать:

- щільність твердої фази (ЩТФ);
- щільність ґрунту (ЩГ);
- пористість (загальна - ЗП, капілярна - КП, аерації - Паер.).

**Щільність твердої фази ґрунту** - відношення маси твердої фази до маси такого ж об'єму води при температурі +4°C. Простіше можна сказати, що ЩТФ - це маса одиниці об'єму (1 см<sup>3</sup>) самої лише твердої фази ґрунту. Величина ЩТФ мінеральних ґрунтів коливається від 2,4 до 2,8 г/см<sup>3</sup>. Вона залежить від мінералогічного складу ґрунту та вмісту в ньому органічних компонентів.

Наприклад, у піщаних та супіщаних ґрунтах Полісся України ЩТФ близька до щільності кварцу (2,65), у чорноземах вона коливається в межах 2,52-2,62 г/см<sup>3</sup>. В мало гумусованих горизонтах субтропічних ґрунтів, збагачених мінералами оксидів заліза та алюмінію, показник ЩТФ сягає 2,7-2,8 г/см<sup>3</sup>. Торф має ЩТФ в межах 1,4-1,8 г/см<sup>3</sup>. Чорнозем з вмістом гумусу 10% має ЩТФ близько 2,4, а сірий лісовий ґрунт з вмістом гумусу 2,0-2,6% відповідно - 2,6-2,7 г/см<sup>3</sup>.

**Щільність ґрунту** - маса абсолютно сухого ґрунту непорушеної будови в одиниці об'єму. Вимірюють показник у г/см<sup>3</sup> (т/м<sup>3</sup>) і розраховують за формулою:

$$d_v = \frac{P}{V}$$

де  $d_v$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>; P - маса абсолютно сухого ґрунту непорушеної будови, г; V – об'єм ґрунту, см<sup>3</sup>.

ЩГ – одна з найважливіших фізичних характеристик ґрунту, яка безпосередньо впливає на водний, повітряний і тепловий режими, мікробіологічну діяльність, нагромадження і засвоєння елементів живлення, ефективність мінеральних та органічних добрив. Величина її

залежить від мінералогічного і гранулометричного складу, структурного стану, вмісту в ґрунті органічних речовин, його вологості та характеру сільськогосподарського використання.

Межі коливань ЩГ досить широкі. Для мінеральних ґрунтів вони становлять 0,9-2,0, а для органічних (торфів) – 0,15-0,40 г/см<sup>3</sup>. Різні генетичні горизонти також мають неоднакову щільність. Найменші її величини характерні для верхніх шарів ґрунту, найбільші – для нижніх, особливо ілювіальних та оглеєних горизонтів. Наприклад, гумусо-елювіальний горизонт дерново-підзолистих ґрунтів має щільність 1,2-1,4; елювіальний – 1,4-1,5; для ілювіального горизонту цей показник становить 1,6-1,8 г/см<sup>3</sup>. Щільність орного шару чорноземів – 1,0-1,3; підорного – 1,3-1,4; а в перехідних до ґрунтоутворної породи – 1,1-1,2 г/см<sup>3</sup>. В оглеєних мінеральних горизонтах болотних ґрунтів і стовпчастих горизонтах солонців щільність наближається до 1,9-2,0 г/см<sup>3</sup>. Крім того, ЩГ змінюється в просторі і часі, особливо у верхніх горизонтах, які зазнають впливу кліматичних, біологічних і антропогенних факторів.

Оптимальне значення ЩГ для більшості сільськогосподарських культур на суглинкових та глинистих ґрунтах коливається в межах 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup>. Збільшення цього показника знижує врожайність сільськогосподарських культур. Так, згідно із даними І.Б.Ревута та М.П.Поясова (1953), збільшення щільності чорнозему суглинкового від 1,1 до 1,5 г/см<sup>3</sup> знизило врожай вівса в 3,7 рази.

Н.А.Качинський запропонував так оцінювати щільність орного шару суглинкових та глинистих ґрунтів (табл. 11)

Розрізняють рівноважну і оптимальну ЩГ. *Рівноважною вважають щільність горизонтів, які довгий час не оброблялись.* Показники рівноважної ЩГ наведено в табл. 12.

**Оцінка щільності суглинкових та глинистих ґрунтів  
(за Н.А.Качинським, 1965)**

ЩГ, г/см <sup>3</sup>	Оцінка
<1,0	Надмірно розпушений або багатий на органіку ґрунт
1,0-1,1	Типові показники для культурного свіжовиораного ґрунту
1,2	Ущільнена рілля
1,3-1,4	Дуже ущільнена рілля
1,4-1,6	Типові показники для підорних горизонтів (крім чорноземів)
1,6-1,8	Дуже ущільнені ілювіальні горизонти ґрунтів

Оптимальною вважається та ЩГ, при якій за інших рівних умов отримують найбільші врожаї сільськогосподарських культур. Оптимальна щільність за своєю абсолютною величиною є характерною для кожного типу ґрунту, для різновидів ґрунтів за гранулометричним складом і для біологічних груп сільськогосподарських культур. У легких ґрунтах оптимальна щільність вища, а діапазон її коливань дещо ширший, ніж у ґрунтах середнього і важкого гранулометричного складу (табл. 13).

Оптимальні інтервали ЩГ не є константами. Вони змінюються у часі і насамперед у зв'язку із мірою зволоженості ґрунту. При високій вологості оптимум у межах встановленого діапазону зміщується в бік низьких показників щільності, а в умовах недостатнього зволоження – до більш високих значень.

Зернові культури менш вимогливі до рівня ущільнення, ніж просапні. Для більшості зернових на середньо- і важкосуглинкових ґрунтах оптимальні умови росту і розвитку складаються у діапазоні щільності від 1,0 до 1,3; на легкосуглинкових – від 1,3 до 1,45 г/см<sup>3</sup>. На супіщаних ґрунтах оптимальні умови не порушуються в діапазоні 1,35-1,50 г/см<sup>3</sup>.

**Значення рівноважної щільності ґрунтів України  
в шарі 0-20 см (узагальнені дані)**

Гранулометричний склад	ЩГ, г/см <sup>3</sup>	Гранулометричний склад	ЩГ, г/см <sup>3</sup>
Дерново-підзолистий піщаний глинисто-піщаний супіщаний	1,50-1,65 1,35-1,45 1,45-1,60	Темно-сірий лісовий середньосуглинковий	1,20-1,30
Дерново-карбонатний супіщаний легкосуглинковий	1,20-1,40 1,15-1,35	Чорнозем опідзолений середньосуглинковий	1,20-1,35
Дерново-глеєвий важкосуглинковий	1,40-1,55	Чорнозем типовий середньосуглинковий	1,10-1,30
Лучний середньосуглинковий	1,15-1,30	Чорнозем звичайний важкосуглинковий	1,10-1,25
Торфовище низинне ступінь розкладу торфу 35-40 %	0,12-0,18	Чорнозем південний важкосуглинковий легкоглинистий	1,20-1,30 1,25-1,40
Ясно-сірий лісовий середньосуглинковий	1,03-1,40	Темно-каштановий важкосуглинковий	1,25-1,35
Сірий лісовий середньосуглинковий	1,25-1,35	Каштановий легкоглинистий	1,30-1,40

Для просапних культур оптимальний діапазон щільності становить 1,0-1,35 г/см<sup>3</sup>.

Відхилення ЩГ від оптимуму як у бік збільшення, так і зменшення негативно впливає на ріст і розвиток рослин, запізнюється поява сходів, різко зменшується висота рослин, послаблюється забарвлення листків, обмежується ріст коренів, а їх форма порушується, бульби та коренеплоди деформуються, різко зменшується доступність вологи і забезпеченість повітрям, збільшуються витрати на обробіток ґрунту. Внаслідок зниження щільності зменшується об'ємна концентрація вологи і елементів живлення, що також призводить до зниження продуктивності рослин.

Для плодкових культур показники щільності ґрунту оцінюють за шкалою, наведеною в табл. 14.

Таблиця 13.

**Значення оптимальної щільності ґрунту для сільськогосподарських культур (за О.Г. Бондаревим, В.В. Медведєвим)**

Культура	Інтервал щільності, г/см <sup>3</sup>
<b>Полісся</b>	
Дерново-підзолисті супіщані та легкосуглинкові	
Зернові колосові	1,25-1,35
Кукурудза	1,10-1,30
картопля	1,15-1,25
Дерново-підзолисті середньо- і важкосуглинкові	
Зернові колосові	1,10-1,40
Кукурудза	1,10-1,20
Картопля	1,10-1,20
Кормові боби	1,10-1,30
<b>Лісостеп</b>	
Сірі лісові легкосуглинкові	
Зернові колосові	1,10-1,40
Сірі лісові середньо- і важкосуглинкові	
Зернові колосові	1,05-1,30
Кукурудза	1,00-1,25
Чорноземи типові та опідзолені легкосуглинкові	
Зернові колосові	1,10-1,40
Чорноземи типові та опідзолені середньо- і важкосуглинкові	
Зернові колосові	1,10-1,30
Кукурудза	1,00-1,25
Гречка	1,20-1,30
Просо	1,20-1,40
Горох	1,10-1,35
Цукровий буряк	1,00-1,25
<b>Степ</b>	
Чорноземи звичайні та південні, каштанові середньо- і важкосуглинкові	
Зернові колосові	1,05-1,30
Кукурудза	1,05-1,30

Таблиця 14.

**Нормальні та допустимі значення щільності для росту коренів плодових культур на легких ґрунтах (за І.М. Ващенко)**

Генетичні горизонти	Щільність ґрунту, г/см <sup>3</sup>			
	оптимальна	допустима	критична	корені не ростуть
Н – НР	1,40	1,40-1,60	1,60-1,75	>1,60
РН – Рк	1,60	1,60-1,75	1,80	>1,80
Рк	1,60	1,60-1,75	1,75-1,80	>1,80

Велике значення має оцінка ЩГ для плодових насаджень. При виборі ділянок під різні групи плодових насаджень враховують ущільненість ґрунту (табл. 15).



Таблиця 15.

**Реакція плодових культур на ступінь ущільнення суглинкових і глинистих ґрунтів (за В.Ф. Вальковим, С.Ф. Неговєловим)**

Стан плодових культур	Глибина шару, см	Черешня, абрикос	Яблуня, груша, айва, персик	Слива, вишня
Дерева довговічні, дають рясні плоди	20-80	1,45	1,50	1,50
	80-150	1,45	1,50	1,55
	150-300	1,50	1,50	1,50
Дерева ростуть і плодоносять задовільно	20-80	1,45	1,50	1,55
	80-150	1,48	1,55	1,60-1,70
	150-300	1,50	1,55-1,75	1,65-1,75
Дерева дуже пригнічені і не плодоносять	20-80	1,50	1,60	1,70
	80-150	1,55	1,65	1,70
	150-300	1,60	1,70	-

Отже, в ряду плодових дерев (черешня, абрикос, груша, яблуня, слива, вишня) найбільш чутлива до ущільнення черешня, а найменш – слива та вишня.

С.І. Долгов зі співробітниками (1970) запропонували формулу для розрахунку критичного рівня щільності ґрунту (верхньої межі критичного ущільнення). Її можна використати і для розрахунку нижньої межі оптимальної щільності. Розрахунки ведуть за формулою

$$d_{\Gamma} = \frac{(100 - A) \cdot d_{\Gamma\Phi}}{100 + HB \cdot d_{\Gamma\Phi}}$$

де  $d_{\Gamma}$  - гранична щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $d_{\Gamma\Phi}$  - щільність твердої фази ґрунту, г/см<sup>3</sup>; HB - найменша вологоємність ґрунту, %; A – вміст повітря, %.

При A = 15 % отримуємо верхню межу, а при A = 20% – нижню межу оптимальної щільності ґрунту. Верхня межа обмежує щільність, вище якої у ґрунті при вологості, що відповідає HB, виявляється нестача кисню, а нижня межа відділяє надмірне розпушення орного шару, яке призводить до втрат вологи на фізичне випаровування.

## Переущільнення

Якщо використати узагальнений критерій рівноважної щільності будови кореневмісного шару для культур ( $1,25 \text{ г/см}^3$ ), то біля 58 % ріллі країни має більш високий показник. Останнє означає, що на цій частці ріллі протягом вегетації, за винятком процесу релаксації після обробітку (процес релаксації на ґрунтах легкого гранскладу не перевищує 2-3 тижнів, на ґрунтах важкого гранскладу - 1,5-2-х місяців), фактична щільність будови не співпадає з вимогами корневих систем рослин.

Переущільнення ґрунтів - відома в Україні проблема, що супроводжується несприятливими екологічними наслідками і значними економічними збитками. При вирощуванні зернових культур приблизно 20 % ріллі країни мають щільність будови в кореневмісному шарі вище, ніж потребують ці культури

Стосовно більш вимогливих до ґрунтово-фізичних умов цукрових буряків і кукурудзи площі з переущільненням зростають до 35-40 %.

Небезпека переущільнення практично відсутня у ґрунтах легкого гранскладу, з високими параметрами вихідної щільності й зниженою вологістю. Навпаки, висока схильність відзначається в глинистих ґрунтах, з низькою рівноважною щільністю і вологістю, що дорівнює або вище вологості фізичної спілості.

Переущільнення особливо виражене, коли використовуються машинно-тракторні агрегати з високим тиском на ґрунт, що перевищує припустимі межі. За таких умов переущільнення можливе навіть на ґрунтах, не схильних до деградації.

Таким чином, схильність орних ґрунтів України до прояву несприятливих фізичних властивостей за рахунок дії природних або антропогенних чинників досить виражена і нерідко перевищує припустимі межі.

### **Заходи, що запобігають переущільненню ґрунтів**

Як уже відзначалося, тривале, нерідко нераціональне сільськогосподарське використання ґрунтів, надмірний їх механічний обробіток, застосування важкої техніки, фізіологічно кислих форм мінеральних добрив, з одного боку, і недостатнє внесення органічних добрив, використання ґрунтозахисних технологій, з іншого, призводять до втрати загального гумусу, погіршення агрегуючих його властивостей. Унаслідок цього в ґрунті відбуваються глибокі кількісні зміни структури: послаблюється інтенсивність макроагрегації, повсюдно переущільнюється кореневмісний шар, погіршуються режими води і повітря. Якщо ці явища набувають сталого характеру і не усуваються в процесі динамічної трансформації ґрунтів при зволоженні-висушуванні, розущільненні, замерзанні-розмерзанні та під дією інших природних факторів агрегації, то є всі підстави констатувати агрофізичну деградацію ґрунтів. Ураховуючи літературні матеріали, можна стверджувати, що практично всі староорні ґрунти країни в агрофізичному відношенні деградовані. Разом з тим відомо, що добре угноювані ґрунти за умов мінімалізації механічного обробітку, застосування меліорантів та інших окультурюючих прийомів мають кращі агрофізичні властивості порівняно з виснаженою, погано удобрюваною ріллею. Отже, можна припустити, що за рахунок високої культури землеробства можна не тільки не допустити їх погіршення, а й забезпечити поліпшення. Про таку реальність свідчать дослідження, проведені на держсортодільницях, де застосовується метод комплексного окультурення (своєчасний обробіток ґрунту, систематичне внесення в рекомендованих дозах органічних і мінеральних добрив, дотримання сівозмін тощо). Порівняно з розташованими поблизу землями сільськогосподарських підприємств чорноземи сортодільниць мають: вищу водопроникність, пористість, водостійкість структурних окремоостей, вологоємність; більші запаси доступної вологи і меншу щільність складення.

Разом із цим такі поняття, як „висока” і „низька” культура землеробства, хоч і застосовують досить широко, але практично на сьогодні позбавлені конкретного змісту і мають відносний характер, оскільки ґрунти різних регіонів використовуються в сільському господарстві неоднаковий час, мають різний рівень застосування на них добрив, техніки, а також різні вирощувані культури. Отже, важко порівнювати агрофізичні властивості ґрунтів, що перебувають у різних умовах сільськогосподарського використання. Дослідження, що проводили на Сумській і Чкаловській (Херсонська область) держсортодільницях, а також на суміжних з ними полях сільськогосподарських підприємств, показали, що 20-30-річне використання чорноземів при високій насиченості добривами зумовило деяке їх збагачення на органічну речовину (+0,14 % – на чорноземі типовому і +0,19 % – на чорноземі південному) і зменшення рівноважної щільності (від 1,26-1,27 до 1,12-1,18 г/см<sup>3</sup>) порівняно з контрольними варіантами. Помітно (достовірно) поліпшилися структурно-агрегатний склад, показники мікробудови, зростає водопроникність.

За умов високої культури землеробства гній компенсує деяку негативну дію мінеральних добрив на фізичні властивості й елементи мікробудови, що проявляється вже в перший-другий рік після їх внесення. Показники мікробудови чорноземів при цьому стабільні й наближаються до кращих угноюваних фонів.

Важливе значення для поліпшення агрофізичних властивостей ґрунтів має сільськогосподарська культура. Поліпшуюча роль її тим вища, чим більша нагромаджувана нею маса (підземних і надземних) решток. Добре відома також роль культур, які мають глибоку кореневу систему і здатні адаптуватися в умовах ущільнення, перезволоження або переосушення, а також можуть активно пристосовувати до своїх вимог кореневмісний шар.

З числа досліджуваних культур найкращою щодо агрофізичних властивостей слід вважати озиму пшеницю, під якою вже навесні показники структурно-агрегатного складу і щільності складення мають оптимальний діапазон – 1,1-1,3 г/см<sup>3</sup>. Надалі, у міру її розвитку структурно-агрегатний склад продовжує поліпшуватися і щільність залишається в межах оптимальних величин. Зазначимо, що дія озимої пшениці на фізичні властивості ґрунту незначно поступається дії гною. Кукурудза, цукрові буряки і картопля протягом вегетації також позитивно впливають на структурний склад, але в меншій мірі, ніж озима пшениця. Щільність складення в цьому разі наприкінці вегетації досягає 1,35 г/см<sup>3</sup>. Це можна пояснити використанням для їх вирощування механічних обробітків, прискореним розкладом органічних речовин і меншою кількістю рослинних решток, що залишаються на полі від цих культур. Отже, якщо в сівозміні переважають просапні культури, необхідно передбачати заходи, що усувають їх несприятливий вплив на фізичні властивості. Під чорним паром результати гірші, ніж під просапними культурами. Отже, доцільність чорного пару в агрофізичному відношенні досить сумнівна. Очевидно, за цих умов посилення мікробіологічної діяльності призводить до втрати органічної речовини, диспергації ґрунту, а отже, і до погіршення його агрофізичних властивостей і режимів у цілому.

Не менш істотне значення має більш широке використання кальцієвмісних речовин. Про необхідність цього заходу свідчать такі положення: декальціювання (втрати кальцію) відбуваються в ґрунтах повсюдно в найрізноманітніших умовах; для сучасних орних ґрунтів також характерне посилення рухомості (мобільності, реакційної здатності) органічної речовини.

Дослідження, виконані співробітниками УкрНДІ ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського та кафедри ґрунтознавства Харківського СГІ ім. В.В. Докучаєва протягом 30-70-х років ХХ століття, показали високу ефективність гіпсу на різних ґрунтах, у тому числі й на чорноземах

типових глибоких і південних . Урожай зернових культур при цьому збільшився на 30 % і вище порівняно з контролем, що пояснювалося посиленням біологічної і ферментативної активності ризосферного шару ґрунту, підвищенням рухомості основних поживних елементів, прямою дією гіпсу як джерела сірки та активного кальцію. Гіпс особливо ефективний на зрошуваних землях, здатний поліпшити структурно-агрегатний склад, щільність складення, водно-фізичні властивості й мікроструктуру чорноземних ґрунтів. Згідно з рекомендаціями кальцієвмісні речовини на чорноземах необхідно вносити один раз на 10 років у дозі 3 т/га.

Найбільш важливе значення для орних ґрунтів мають заходи, що зменшують негативні наслідки переущільнення ґрунтів важкою сільськогосподарською технікою. Головне при цьому – не використовувати на полях техніку з питомим тиском вище за допустимі норми (близько 1 кгс/см<sup>2</sup> при зволоженні, що дорівнює 0,7 фізичної стиглості й близько 0,5 кгс/см<sup>2</sup> при 1 фізичної стиглості) . Якщо це практично неможливо, наприклад для всієї енергонасиченої техніки (особливо тракторів К-700, Т-150К і навіть МТЗ-82, комбайнів, причепів, автомобілів, великовагових засобів для внесення рідких мінеральних добрив), тиск якої на ґрунт перевищує допустимий у два-чотири рази, то необхідно вживати заходи з мінімалізації кількості проходів (так звана маршрутизація руху машинно-тракторних агрегатів) або такі, що збільшують площу контакту ходової системи з ґрунтом (здвоювання коліс або використання пневматичних широкопрофільних шин). Результативні також заходи, що підвищують опір ґрунтів ущільненню (внесення гною, кальцієвмісних сполук та інших оструктурюючих меліорантів) і прискорюють його розущільнення (активне підпушення, фітомеліорація тощо).

Найбільш ефективний шлях подолання фізичної деградації - мінімалізація обробітку аж до повної відмови від нього (нульовий

варіант). За підрахунками ННЦ «ІА імені О.Н.Соколовського», в Україні є великі можливості для впровадження мінімальних способів обробітку. Заважає цьому низька культура землеробства, надлишок бур'янів і вимушене застосування оранки і інших численних передпосівних і міжрядних обробітків як засобу боротьби з ними. Найбільш ефективний захід зменшення негативних наслідків переущільнення - впровадження стандарту (ДСТУ) припустимого тиску ходових систем на ґрунт. Нещодавно такий стандарт було прийнято в Україні. Уведення стандарту реально тільки на техніку, що розроблюється, тобто у перспективі. Але зараз на полях працює велика кількість машинно-тракторних агрегатів, які продовжують ущільнювати ґрунт. Для цієї техніки опрацьовано і пропонується декілька заходів. Головний їхній зміст - зменшити навантаження на ґрунт за рахунок конструктивного дообладнання ходових систем додатковими (спареними чи строєними колесами), або більш рішучого впровадження мінімальних і нульових технологій обробітку. Потенційно мінімальний обробіток ґрунту в Україні можна впроваджувати на 12-13 млн. га, нульовий - на площі, що перевищує 5,5 млн. га. Певні перспективи має так звана маршрутизація руху мобільних агрегатів при вирощуванні культур, коли всі операції здійснюються за одними й тими самими коліями. Ця технологія здатна зменшити загальне навантаження на ґрунт у 1,5-2,0 рази порівняно із стандартною технологією.

У загальному вигляді всі заходи, що спрямовані на запобігання агрофізичній деградації, наведено в табл. 16. Їх особливість полягає в тому, що вони диференційовані залежно від рівня окультуреності ґрунтів. Визначити необхідний рівень можна за критеріями, наведеними в табл. 66. Зазначимо, що зі зменшенням рівня окультуреності зміст прийомів, що застосовуємо, стає все більш ємким. Однак і в протилежному разі обсяг робіт залишається значним. Необхідність у цьому диктується встановленим положенням про те, що навіть за умов високої

окультуреності агрофізичні властивості більшості ґрунтів поки що не задовольняють вимогам культур для забезпечення їх максимальної продуктивності. Особливо це важливо при зрошенні ґрунтів і при багаторазових проходах МТА, коли навіть за умов високої культури землеробства агрофізичний стан ґрунтів погіршується більшою мірою. Основний зміст заходів полягає в поліпшенні організації виконання механізованих польових робіт і у впровадженні нових технічних засобів для обробітку ґрунтів.

Таблиця 16

**Заходи збереження і поліпшення агрофізичних властивостей ґрунтів залежно від рівня їх окультуреності**

<b>Рівень окультуреності</b>	<b>Заходи</b>
Високий	Заходи спрямовані на збереження агрофізичних властивостей ґрунтів і включають мінімалізацію обробітку (заміна оранки поверхневим обробітком під окремі культури сівозміни, поєднання операцій; зменшення кількості міжрядних обробітків у посівах просапних культур, поліпшення організації робіт та ін.); систематичне внесення гною в дозах, що забезпечують бездефіцитний баланс органічної речовини (приблизно по 25-35 т/га один раз на 4 роки); в зрошуваних умовах точно нормована подача поливної води; обробіток ґрунту активними робочими органами; зменшення питомого тиску МТА на ґрунт
Середній	Заходи спрямовані на поліпшення агрофізичних властивостей і включають комплексне застосування прийомів високої культури землеробства, в першу чергу систематичне внесення підвищених доз органічних добрив, впровадження спеціалізованих сівозмін із значною часткою культур звичайної рядкової сівби, бобових культур, всіх елементів мінімалізації обробітку, використання кальцієвмісних речовин
Низький	Те саме, а також систематичне внесення підвищених доз органічних добрив

Великі резерви поліпшення агрофізичних властивостей залежать від мінімалізації обробітку і насамперед у використанні комбінованих машин, оскільки мінімалізація обробітку, поєднання операцій для більшості ґрунтів обмежуються лише періодом сівби. Не втрачають свого значення органічні добрива, а також кальцієвмісні сполуки, які поки що



недооцінюються. Ці прийоми є провідними при вирішенні проблеми управління агрофізичними властивостями ґрунтів.

**Пористістю ґрунту** називається сумарний об'єм усіх пор і проміжків між механічними елементами, структурними агрегатами та в середині їх в одиниці об'єму ґрунту непорушеної будови. Вимірюється пористість у відсотках від об'єму ґрунту.

Величина пористості залежить від гранулометричного складу, структурності та мікроагрегатності, вмісту органічної речовини, життєздатності живих організмів, а в культурних ґрунтах – від обробітку і меліоративних заходів.

Визначити ЗП ґрунту можна за такою формулою:

$$ЗП = (1 - ЩГ/ЩТФ) \cdot 100$$

де ЩГ/ЩТФ - об'єм твердої фази ґрунту, а за одиницю приймають загальний об'єм ґрунту з усіма його порами. Експериментально ЗП визначають шляхом заповнення всіх пор ґрунту рідиною, об'єм якої заміряють.

Н.А.Качинський запропонував так оцінювати ЗП ґрунту (табл. 17).

Таблиця 17.

**Оцінка загальної пористості ґрунтів (за Н.А.Качинським, 1965):**

ЗП, % від об'єму	Оцінка
>70	Надмірно розпушений ґрунт
65-55	Відмінна
55-50	Задовільна для орного шару
<50	Незадовільна для орного шару
40-25	Надмірно низька, характерна для ілювіальних горизонтів

За величиною загальної пористості оцінюють ступінь ущільнення ґрунту, користуючись табл. 18.

**Ступінь ущільнення ґрунту залежно від загальної пористості,  
% від об'єму**

Глибина шару, см	Ступінь ущільнення					ЩТФ, г/см <sup>3</sup>
	дуже пухкий	пухкий	середньо пухкий	щільний	дуже щільний	
<b>Для ґрунтів з вмістом гумусу до 4%</b>						
0-20	>60	60-53	53-47	47-42	<42	2,60
20-50	>55	55-50	50-45	45-40	<40	2,65
50-100	>50	50-45	45-41	41-38	<38	2,70
<b>Для ґрунтів з вмістом гумусу понад 4%</b>						
0-20	>62	62-56	56-52	52-48	<48	2,50
20-50	>58	58-54	54-50	50-46	<46	2,60
50-100	>54	54-51	51-48	48-44	<44	2,70

Залежно від величини пор виділяють капілярну та некапілярну пористість. **Капілярна пористість** (КП) дорівнює процентному відношенню об'єму тонких (капілярних, найчастіше внутріагрегатних) пор від загального об'єму ґрунту, а **некапілярна** - об'єму крупних (найчастіше міжагрегатних) пор. Експериментально КП визначають виходячи з капілярної вологоємності (КВ) ґрунту, яку, в свою чергу, визначають методом капілярного насичення монолітів ґрунту:

$$КП = КВ \cdot ЩГ,$$

де КП - капілярна пористість, % від об'єму ґрунту; КВ - капілярна вологоємність, % від маси сухого ґрунту; ЩГ - щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Віднявши КП від ЗП, одержимо величину некапілярної пористості ґрунту, або (що те ж саме) пористості його аерації при капілярному насиченні (Паер. кв):

$$Паер.кв = ЗП - КП$$

В агрономічному відношенні важливо, щоб ґрунти мали найбільшу пористість капілярів, заповнених водою і, одночасно, пористість аерації була не меншою за 15% від об'єму в мінеральних та 30-40% в торфових ґрунтах. На це повинні бути спрямовані і всі заходи по покращенню загальних фізичних властивостей ґрунту.

У середньому пористість у мінеральних ґрунтах коливається в межах 30-60, а у торфовищах 80-85% (табл. 19).

Величина пористості та будова пор змінюються за профілем ґрунту. В гумусних горизонтах чорноземів пористість максимальна (50-60%), а в більш глибоких безгумусних – близько 40%. Мінімальну пористість мають безструктурні оглеєні горизонти, стовпчасті горизонти солонців (< 30%) і безгумусові горизонти піщаних ґрунтів (30-35%).

Таблиця 19.

**Межі коливань різних видів пористості в ґрунтах і ґрунтовірних породах (за В.А. Ковдою)**

ґрунти, ґрунтовірні породи	Пористість		
	загальна, %	капілярна	некапілярна
		% від загальної	
Піски	30-35	25-35	65-75
Супіски	35-45	45-55	45-55
Суглинки	40-47	65-85	15-35
Леси та лесовидні суглинки	40-55	60-65	35-50
Глини	45-55	90-97	3-10
Орний шар чорнозему	55-60	40-45	55-60
Поверхневий горизонт торфовища	80-85	95-98	2-5

Пористість має велике агрономічне значення. Від загальної кількості пор та їх розміру залежить співвідношення між газовою і рідкою фазами ґрунту, умови руху ґрунтових розчинів, повітря, тепла і розвиток живих організмів. Вологоємність, водотривкість, водопіднімальна здатність,

аерація та інші властивості ґрунту тісно пов'язані з пористістю. Особливо важливе значення вона має у зрошуваних ґрунтах, обумовлюючи глибину просочування води, капілярне підняття підґрунтових вод та інтенсивність процесів випаровування.

До фізико-механічних властивостей ґрунту належать:

- пластичність;
- липкість;
- набрякання та зсідання;
- зв'язність;
- твердість;
- питомий опір при обробітку.

**Пластичність ґрунту** - його здатність змінювати свою форму під дією будь-якої зовнішньої сили без порушення суцільності та зберігати набуту форму після усунення дії цієї сили. Із поняттям *пластичність* ґрунтів пов'язаний термін *деформація ґрунтів*, коли зміщуються окремі точки ґрунтової маси, але цілісність ґрунту не порушується. Розрізняють два види деформації:

- пружна, характеризується тим, що після зняття навантаження деформація зникає;
- залишкова, яка зберігається після зняття навантаження.

Ні сухий, ні надмірно вологий ґрунт пластичності не мають. Лише в певному інтервалі вологості, який тим ширший, чим важчий механічний склад ґрунту, здатна проявлятися пластичність. Межами цього інтервалу вологості є верхній та нижній рубежі пластичності, а абсолютну величину цього інтервалу у відсотках від маси сухого ґрунту називають *числом пластичності*.

**Верхній рубіж пластичності є нижньою межею текучості** - це така вологість ґрунту, при якій стандартний конус під дією власної маси (76 г) заглиблюється в зразок ґрунту на глибину 10 см.

**Нижній рубіж пластичності, або межа розкочування чи вологість зерніння** - вологість ґрунту, при якій зразок можна розкачати в шнур діаметром 3 мм без утворення в ньому розривів.

В залежності від величини числа пластичності ґрунти за Аттенбергом поділяють на чотири категорії (табл. 20)

Таблиця 20.

Категорія	Число пластичності
Високопластичні	> 17
Пластичні	17-7
Слабопластичні	< 7
Непластичні	0

Глинисті ґрунти мають число пластичності понад 17; суглинки - від 17 до 7, супіски - менше 7, а піски вважаються непластичними (число пластичності - 0).

Склад колоїдної фракції ґрунту (відношення  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ ), характер увібраних катіонів, вміст гумусу - все це відчутно впливає на пластичність. Звуження відношення  $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$  підвищує пластичність. Зростання частки ввібраного  $\text{Na}^+$  в ГВК теж підвищує її, а збільшення вмісту гумусу - навпаки, знижує.

**Липкість** - властивість вологого ґрунту прилипати до інших тіл, а також здатність часток ґрунту злипатися між собою. Як в сухому, так і в надмірно вологому стані ґрунт не має липкості. Вимірюють липкість величиною сили (в грамах), яку необхідно прикласти, щоб відірвати від поверхні ґрунту металеву пластинку площею в  $1 \text{ см}^2$ . Величина липкості залежить від кількості мулистих і колоїдних часток в складі дрібнозему ґрунту, від ступеня його вологості, складу ввібраних катіонів, структури та гумусованості. Липкість починає виникати при вологості близькій до верхнього рубежу пластичності. Високогумусовані ґрунти навіть при підвищеній вологості не мають липкості. Із підвищенням ступеня

дисперсності ґрунтів, погіршенням їх структури та чим важчий гранулометричний склад, липкість ґрунту зростає.

За липкістю згідно із Н.А.Качинським ґрунти поділяються на п'ять категорій (табл.21).

Таблиця 21

Категорія	Липкість, г/см <sup>2</sup>
Гранична за липкістю	> 15
Сильнов'язка	5-15
Середньов'язка	2-5
Слабов'язка	0,5- 2
Розсипчаста	0,1-0,5

Дуже підвищує липкість значний вміст увібраних катіонів Na<sup>+</sup>, як це видно з таблиці 22.

Таблиця 22.

#### Здатність до прилипання деяких ґрунтів (за Н.А.Качинським)

Ґрунт, угіддя, горизонт	Вологість, % від маси сухого ґрунту	Липкість, г/см <sup>2</sup>
Дерново-середньо підзолистий	20,7	0
суглинковий	27,2	0,96
стерня жита	31,4	2,50
HE 0-14	36,2	2,63
Чорнозем слабосолонцюватий легкосуглинковий	41,3	0,13
Яра пшениця після конюшини	49,4	0,61
H 0-24	67,8	1,47
Солонець горіхувато-брилистий легкосуглинковий	30,7	0,26
Цілина	40,8	4,20
Eh 0-8	53,0	4,80

Липкість збільшує зусилля на обробіток ґрунту, що зумовлює збільшення витрат робочого часу, палива, посилює спрацювання техніки, тобто цей показник є не тільки фізичним, а ще й економічним.

При величині липкості понад  $5 \text{ г/см}^2$  відбувається пластична деформація ґрунту внаслідок чого зменшується пористість ґрунту, утворюється кірка, формується брилиста структура і орна підшва.

**Набрякання ґрунту** - це збільшення його об'єму при зволоженні і виражається величиною збільшення об'єму ґрунту за рахунок поглинутої води. Набрякання пов'язане з сорбцією води ґрунтовими частками, переважно колоїдними, які мають велику питому поверхню. При висушуванні ґрунт втрачає воду і зменшується в об'ємі. Розрізняють два типи набрякання ґрунту:

- внутрікристалічне, коли вода проникає у між пакетний простір мінералів;
- міжкристалічне, коли дисперсні частки поглинають катіони силами електростатичного поля та силами натягу (адсорбція).

Внутрікристалічне набрякання відбувається всередині порового простору і не викликає помітної зміни об'єму ґрунту. Міжкристалічне набухання викликає помітні зміни об'єму ґрунту, навіть до руйнування ґрунтового агрегату. Наприклад, глинисті ґрунти, насичені натрієм, здатні збільшуватись у об'ємі в 1,5 рази.

Із властивістю набрякання тісно пов'язана вологоємність ґрунту. Ці обидві властивості ґрунтів відображають взаємодію та стан твердої і рідкої фаз, які формують водний режим ґрунтів.

**Зсідання** - зменшення об'єму ґрунту при висушуванні. Розрізняють чотири типи зсідання ґрунту, які відповідають певній кількості води, яку втрачає ґрунт:

- структурне зсідання – така кількість втраченої води, при якій зменшення об'єму ґрунту ще не відбувається;

- нормальне зсідання - така кількість втраченої води, при якій починається зменшення об'єму ґрунту

- залишкове зсідання - така кількість втраченої води, при якій агрегати ґрунту зменшились в об'ємі до такого стану, що перестали доторкатись один до одного і вони не розділені водою;

- граничне зсідання настає тоді, коли вода видаляється не тільки із між агрегатного простору, але і з між пакетного простору мінералів.

Величина набрякання та здатність ґрунту до зсідання залежить від механічного та мінералогічного складу, якості колоїдів, складу ввібраних катіонів. Дуже набрякають ґрунти важкого механічного складу, багаті на гідрофільні колоїди, при наявності в них монтморилоніту. Увібраний  $\text{Na}^+$  підвищує набрякання, а заміна його на  $\text{Ca}^{2+}$  - зменшує.

Структурний ґрунт набрякає менше порівняно з безструктурним ґрунтом такого ж механічного складу. При поперемінному набряканні й висиханні ґрунтів у них утворюються тріщини, що розривають корені і пошкоджують посіви. Ґрунти легкого механічного складу, а також ґрунти, багаті на гідрофобні колоїди та мінерали групи каолінітів набрякають слабо.

**Зв'язність** - це здатність ґрунту чинити опір розкришуванню, стискуванню, розриву. Вимірюється в  $\text{кг}/\text{см}^2$ . Мінімальну зв'язність мають піщані ґрунти, максимальну - глинисті.

Структурний ґрунт має меншу зв'язність, ніж безструктурний. Максимальна зв'язність властива ґрунту в абсолютно сухому стані, по мірі зволоження до фізичної стиглості зв'язність зменшується і досягає мінімуму.

**Твердість** це здатність ґрунту чинити опір вертикально прикладеному зовнішньому зусиллю, яке намагається роз'єднати ґрунтову масу. Кількісно вона може бути виміряна величиною сили, яку треба затратити для введення в ґрунт плунжера (кульки, циліндра, конуса і т.д.). Вимірюється твердість у  $\text{кг}/\text{см}^2$  або кПа.



Величина твердості ґрунту залежить від його гранулометричного складу, агрегатного стану, вмісту гумусу, складу обмінних катіонів, щільності та вологості. Дуже дисперговані, безструктурні, ущільнені ґрунти, з високим вмістом обмінного натрію і, особливо, при низькому зволоженні мають підвищену твердість, а в ґрунтах з великим вмістом гумусу, добре оструктурених, насичених обмінними катіонами кальцію та магнію – твердість різко знижується.

Висока твердість – ознака несприятливих фізичних, агрофізичних і технологічних властивостей ґрунту. Надто тверді ґрунти при обробітку мають несприятливі водні та повітряні властивості, негативно впливають на ріст коренів рослин і життєдіяльність ґрунтової фауни(табл. 23).

Таблиця 23.

**Вплив твердості ґрунту на розвиток коренів рослин (за Г.І.Голубєвим)**

Показник твердоміра, кг/см <sup>2</sup>	Стан ґрунту	Поведінка коренів плодкових та ягідних рослин
0-10	Пухкий	Корені без перешкод ростуть в усіх напрямках
10-20	Пухкуватий	Корені слабо розвиваються в усіх напрямках
20-30	Ущільнений	Корені слабо проникають в усіх напрямках
30-60	Щільний	Корені зустрічають опір при проникненні в ґрунт
60-100	Дуже щільний	Корені проникають у ґрунт лише по тріщинах

Чим вища твердість, тим більший опір ґрунт чинить робочим органам ґрунтообробних машин і потребує значних затрат енергії при механічному обробітку, але на таких ґрунтах зменшується тягове зусилля при перекочуванні механізмів по полю.

Оцінку твердості ґрунту проводять за шкалою Н.А. Качинського (табл. 24).

Таблиця 24.

**Шкала твердості ґрунту за Н.А. Качинським**

Твердість ґрунту		Стан ґрунту
кг/см <sup>2</sup>	кПа	
<10	<1,0	Пухкий
10-20	1,0-2,0	Середньопухкий (пухкуватий)
20-30	2,0-3,0	Ущільнений
30-50	3,0-5,0	Щільний
50-100	5,0-10,0	Дуже щільний
>100	>10,0	Злитий

**Питомий опір ґрунту обробітці (оранці)** – це відношення зусилля, яке витрачається на підрізання, обертання і тертя скиби об робочу поверхню знаряддя до площі її поперечного перетину. Вимірюється в кг/см<sup>2</sup> або кПа.

Величина питомого опору ґрунту залежить від гранулометричного складу, вмісту гумусу, структурності, складу обмінних катіонів, вологості і стану агрофону.

За величиною питомого опору розраховують сумарне тягове зусилля при обробітці. При цьому користуються формулою:

$$P = K \cdot a \cdot v ,$$

де  $K$  – питомий опір ґрунту, кг/см<sup>2</sup>;  $a$  – глибина оранки, см;  $v$  – ширина захвату, см.

Звичайно питомий опір ґрунту при обробітці визначають динамометрично, що складно і потребує багато часу та праці. Простіше виконати розрахунки за показниками твердості ґрунту, наприклад, за рівнянням О.П. Оганесяна:

$$K = \frac{P \cdot n \cdot 0,052}{S},$$

де  $K$  – питомий опір ґрунту,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;  $n$  – коефіцієнт тертя;  $P$  – твердість ґрунту,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;  $S$  – площа плунжера,  $\text{см}^2$ ;  $0,052$  – перевідний коефіцієнт.

Якщо прийняти  $n$  за 1, врахувати, що  $P : S = T$ , то рівняння набуде такого вигляду:

$$K = T \cdot 0,052 \text{ кг}/\text{см}^2,$$

Тому сумарне тягове зусилля при обробітку можна розраховувати за формулою:

$$P = 0,052 \cdot T \cdot a \cdot v,$$

Питомий опір ґрунтів до обробітку коливається в межах від 0,2-0,3 (на легких) до 0,9  $\text{кг}/\text{см}^2$  (на важких глинистих ґрунтах). Кожний конкретний ґрунт має мінімальний для себе питомий опір при фізичній стиглості.

**Фізична стиглість** – це такий стан ґрунту, коли він має невисоку липкість, мінімальний питомий опір при обробітку і максимальну здатність до зерніння з утворенням грудочок розміром 0,5-10 мм без брил та пилу, створюючи найбільш сприятливе співвідношення між твердою фазою, водою і повітрям.

Стану фізичної стиглості ґрунт досягає при певній вологості. Навесні раніше від інших такого явища досягають легкі (піщані та супіщані) ґрунти. Високогумусовані ґрунти також раніше придатні до обробітку, ніж ґрунти з низьким вмістом органічної речовини. Стиглість ґрунту в лабораторних умовах визначають за вологістю його зерніння.

Для різних ґрунтів ця вологість становить від 60 до 90% його найменшої вологоємності (НВ).

Серед явищ, пов'язаних з фізичними властивостями ґрунтів слід назвати утворення орної підшви та кірки. Орна підшва виникає на ґрунтах при їх тривалій оранці на одну і ту саму глибину. Особливо помітно це проявляється при недостатній насиченості їх кальцієм, як неодноразово вказував академік О.Н.Соколовський.

Внаслідок промивання орного шару дощовими і сніговими водами, посиленої мінералізації гумусу і органічних решток в орному горизонті, внесення в нього мінеральних добрив та з інших причин відбувається пептизація колоїдів, вимивання колоїдних часток до верхньої межі неораного шару, який, крім того, ще й ущільнюється, «замазується» п'ятою плуга. Утворюється щось на зразок мікроілювіального горизонту. Одним із перших засобів боротьби з утворенням підшви є насичення ґрунту кальцієм через вапнування, застосування безполіцевого і, особливо, мінімального обробітку ґрунту.

При догляді за посівами і на парах доводиться мати справу з «кіркою»; яка утворюється на поверхні ріллі внаслідок замулювання, запливання поверхні під впливом води і наступного висихання. Агрономічна цінність і, особливо, водотривкість структури ґрунту є основною передумовою, щоб не утворювалася кірка. Товста (до 3-5 см) і міцна кірка, висихаючи і тріскаючись, сприяє швидкій втраті води, щільна кірка не дає змоги проникати в ґрунт повітря, воді атмосферних опадів, утворюватися росі в ґрунті. Для молодих сходів кірка іноді буває непереборною перешкодою.

Ґрунти чи породи, які при намочуванні під дією зовнішнього навантаження чи власної ваги дають додаткове зсідання називаються **просідальними**. До просідальних належать ґрунти, що утворилися на лесах, а також самі породи - леси та лесовидні суглинки. Серед властивостей лесів, що обумовлюють їх здатність до просідання слід назвати такі: 1) високий вміст пилюватих фракцій; 2) легке розмочування у воді; 3) висока пористість; 4) високий вміст легко- та середньо розчинних солей.

Просідання ґрунтів і порід належить до так званих інженерно-геологічних процесів, тому оцінку і прогноз цього явища виконують не ґрунтознавці, а спеціалісти в галузі інженерної геології.

### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Щільність ґрунту та її значення для родючості ґрунту.
2. Щільність твердої фази, її величина в різних типах ґрунтів.
3. Класифікація ґрунтів по липкості.
4. Поняття про пористість, її види та розрахунки різних видів пористості
5. Фізико-механічні властивості ґрунтів.

## РОЗДІЛ 5. ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Ґрунт як багатофазна, полідисперсна система завжди містить вологу. Її кількість у відсотках до маси ґрунту, висушеного при 105 °С, характеризує його вологість, яку можна виражати також у відсотках від об'єму ґрунту, в відсотках до натуральної наважки, в міліметрах.

Вода в ґрунті є найважливішим ґрунтогенним, екологічним, біопродукційним, меліоративним, агрономічним чинником. Вона визначає перебіг процесів вивітрювання, які передують ґрунтогенезу, — гідролізу, гідратації, вилуговуванню, а в подальшому — заболочування (оглеєння), засолення, осолодіння, елювіювання та багато інших, можливих лише за участю води. Вода бере активну участь у формуванні генетичних горизонтів, усіх ґрунтово-екологічних режимів і властивостей ґрунту. Із ґрунтовою вологою пов'язані процеси виносу, переміщення й акумуляції в ґрунтовому профілі всіх речовин, великий і малий кругообіги елементів здійснюються тільки за наявності ґрунтової води.

Вода є незамінним джерелом живлення коренів рослин, головною передумовою їх (та інших численних організмів, що живуть у ґрунті) нормального розвитку і функціонування. Рослинам (від набрякання і проростання насінин до формування кореневої системи, генеративних органів і кінцевої продукції) потрібна величезна кількість води — від 200 до 1000 г для створення 1 г сухої речовини. Звідси легко підрахувати, скільки води потрібно для транспірації люцерні чи конюшині (високовибагливих до води культур), щоб сформувати навіть невеликий урожай. Транспірація за розвиненої листкової поверхні потребує великих витрат не тільки води, а й енергії, призводячи до охолодження рослин. При цьому підвищується концентрація клітинного соку (осмотичний тиск), що, як могутній насос, забезпечує безупинне надходження води з ґрунту до коренів рослин. Поживні елементи також ефективно використовуються рослинами лише в разі їх достатнього вологозабезпечення. Залежним від води є й процес нітрифікації і азотне живлення рослин, прив'язане до

мікробно-біохімічних трансформацій і ферментативної діяльності, нормальний перебіг яких зумовлюється оптимальною вологістю ґрунту. Якщо при цьому врахувати, що і фізичні властивості стають сприятливими тільки за умови цілком певного діапазону зволоження (за його межами ґрунт узагалі не підлягає обробітці), то стає зрозумілим, наскільки важливим чинником родючості є волога, без якої реалізація всіх інших чинників родючості (у тому числі й трюфності) унеможливується.

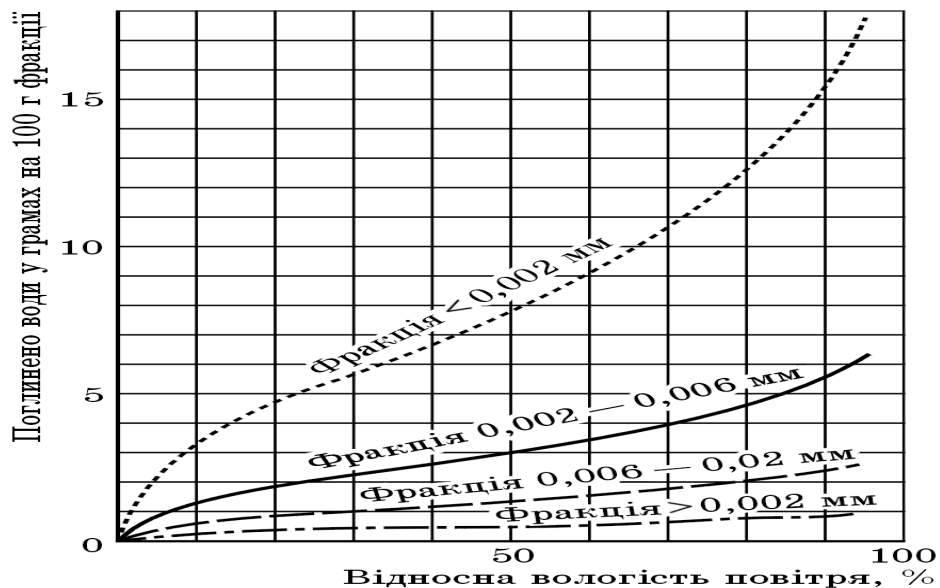
Вода, як терморегулятор з високою теплою пароутворення, захищає поверхню ґрунту від перегрівання за умов високої сонячної радіації, що стає екологічно значущим у найбільш жаркі літні місяці. Навпаки, при замерзанні вологи теплота, виділена при цьому, посилює термостатичну дію, тому що при утворенні криги вивільняється, а при її плавленні поглинається багато тепла. Загалом, уміст і якість вологи в ґрунті, її сезонна і річна динаміка є найважливішими діагностичними ознаками інтенсивності й спрямованості ґрунтогенезу, рівня набутої при цьому родючості ґрунтів, їх придатності для різних видів використання. Пізнання закономірностей поведінки ґрунтової вологи, управління водними властивостями є найважливішою передумовою оптимізації водного режиму ґрунтів, отримання високих, стабільних, екологічно чистих урожаїв сільськогосподарських культур, що особливо актуалізується за нинішніх поліваріантних умов господарювання на етапі земельної реформи.

Основи теорії водного режиму ґрунтів були закладені А.А. Ізмаїльським, Г.М. Висоцьким, П.С. Коссовичем, а в подальшому їх водні властивості поглиблено вивчали А.Ф. Лебедев, С.І. Долгов, А.А. Роде, Н.А. Качинський та багато інших вчених.

Категорії, форми, види води в ґрунті. Ґрунтова волога представлена трьома категоріями — твердою, рідкою і пароподібною.

Тверда волога з'являється в ґрунті при від'ємній температурі у вигляді крижаних прошарків, лінз, зерен, найтонших кристалів між

агрегатами та у великих капілярах. Міцнозв'язаною вважають воду, що міститься в тонких порах, на поверхні чи усередині кристалів і колоїдів. Вона має підвищену в'язкість і пружність, не здатна рухатися, не замерзає навіть при  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Лід значно зміцнює ґрунти, які після розтавання різко знижують свій опір навантаженням. Твердою є і хімічно зв'язана (конституційна) вода з її дуже міцним зв'язком з речовинами ґрунту — півтораоксидами, глинистими мінералами, кристалами гіпсу та мірабіліту (кристалізаційна вода), органічними та іншими сполуками як їх складова частина, абсолютно недоступна рослинам й нерухома. Зміна цього стану стає можливою лише в результаті сильних і тривалих впливів (наприклад, дегідратації), за яких відбуваються необоротні трансформації згаданих мінеральних, органічних і органо-мінеральних сполук.



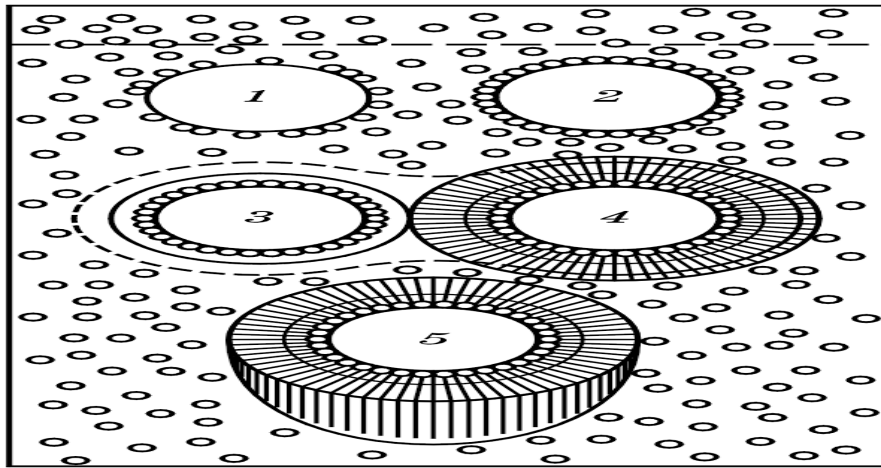
**Рис. 5.1. Залежність величини сорбції водяної пари ґрунтом від відносної вологості повітря та розміру часточок**

Рідку вологу поділяють за рухомістю, спричиненою ступенем міцності зв'язку з твердою фазою ґрунту, на міцно- та слабкозв'язану, капілярну й гравітаційну (вільну). Міцнозв'язаною є гігроскопічна вода, сорбована з водяної пари повітря на колосальних поверхнях



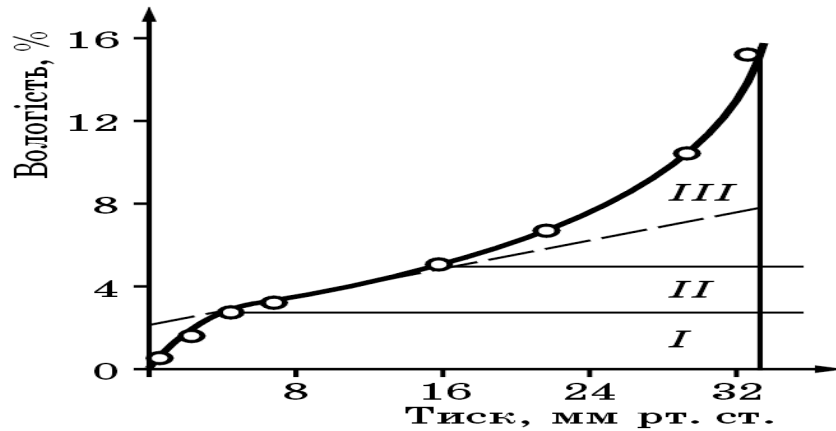
дрібнодисперсних фаз ґрунту, вкриває їх плівками в 1 – 3 молекули (рис. 5.2). Кількість гігроскопічної вологи (ГВ) залежить від величини відносної вологості повітря (ГВ ґрунту і вологість повітря перебуває в квазірівноважному стані) і поверхневої енергії ґрунтових часточок (рис. 5.1). Остання, в свою чергу, визначається ступенем дисперсності і характером кристалічних решіток і, на відміну від хімічно зв'язаної, може пересуватися в ґрунті у вигляді пари у разі зміни температури і відповідної зміни відносної вологості повітря. Для описання фізичної адсорбції — десорбції цієї категорії вологи запропоновано теорії Ленгмюра, Ле-Шательє та багатьох інших авторів. Найбільшою популярністю з них користується теорія полімолекулярної адсорбції БЕТ (з перших літер прізвищ авторів — Брунауер, Еммет, Теллер), що описує адсорбцію у вигляді типової S-подібної ізотерми з трьома частинами — областями домінування тих чи інших типів адсорбції (рис. 5.3). Через значну міцність зв'язку з ґрунтом ця волога є недоступною для рослин.

Слабкозв'язана (плівкова) волога утворюється в ґрунті після повного його насичення пароподібною і частково сконденсованою вологою. Це рідка форма вологи, що вкриває дрібнодисперсні поверхні багаточастковими плівками. Вона утримується в ґрунті за рахунок спільної дії дисперсійних і частково іонно-електростатичних сил, що зумовлюють існування суцільної плівки довкола часток, а також меніскових сил на стиках ґрунтових часточок. За невеликого вмісту слабкозв'язана вода має підвищену в'язкість і знижену діелектричну проникність, перебуваючи під сильною дією поверхневих сил. Вона є малорухомою, а отже, майже недоступною рослинам.



**Рис. 5.2. Форми води в ґрунті (за А.Ф. Лебедєвим):**

1 — гігроскопічна; 2 — максимально гігроскопічна; 3 і 4 — плівкова;  
5 — гравітаційна



**Рис. 5.3. Ізотерма адсорбції водяних парів чорноземом глибоким важкосуглинковим (за П.В. Вершиніним)**

Області: *I* — мономолекулярної адсорбції; *II* — полімолекулярного шару;  
*III* — капілярної конденсації

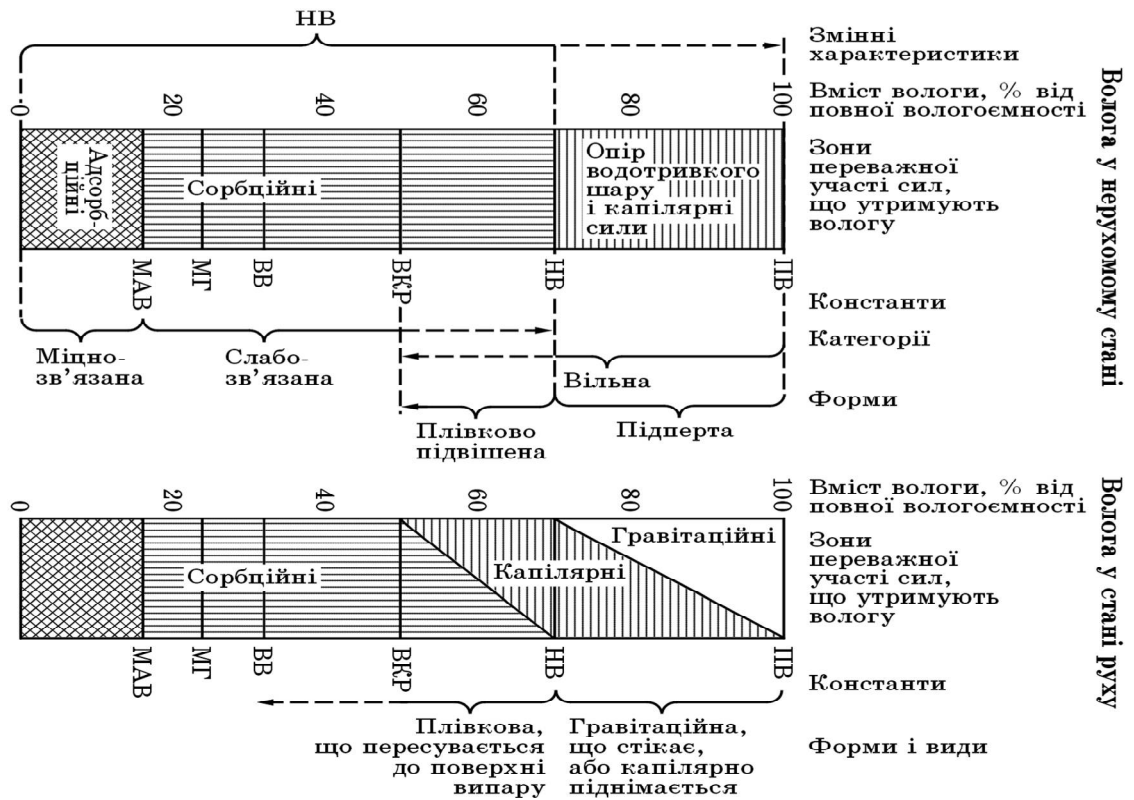
Потовщення плівок, збільшення поверхні, злиття менісків спонукають рідку вологу поступово заповнювати спочатку тонкі, а потім і більші пори. У цьому стані в ґрунті домінує капілярна волога, утримувана менісковими (капілярними) силами. Через те, що при цьому дія поверхневих сил слабшає і зникає зовсім (їх дія у просторі ґрунту залежить від розміру елементарних ґрунтових часточок — чим вони дрібніші, тим більша кривизна плівки і тим сильніший зв'язок води з мінеральною частиною ґрунту), така волога набуває помітної рухомості, стаючи при

цьому біль доступною для рослин. Капілярні сили діють, якщо плівки мають кривизну. В разі її зникнення волога заповнює більші пустоти (шпари, пори до 3 мм у діаметрі), стаючи найбільш рухомою (підкоряється лише дії гравітаційних сил — вільна чи гравітаційна волога) (рис. 5.4).

Пароподібна вода міститься у великих пустотах і легко переміщується внаслідок термодифузії з місць більшої її пружності до меншої. Із зниженням температури пароподібна волога зріджується (конденсується).

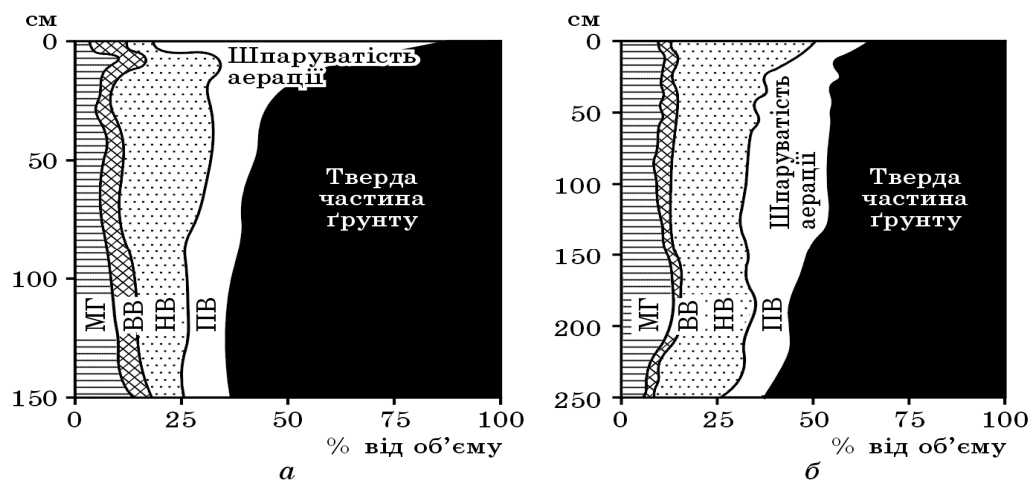
Таким чином, у ґрунті є тверда, рідка і пароподібна категорії води та її гігроскопічна, плівкова, капілярна, гравітаційна форми, які розрізняються властивостями, утримуючими силами, рухливістю, доступністю для рослин.

Ґрунтово-гідрологічні константи. Межі переходу однієї форми вологи в іншу називаються ґрунтово-гідрологічними константами, які можна вважати зонами якісної зміни вологи насамперед за ступенем рухомості (О.А. Роде). Відповідно до існуючих у ґрунті форм води виділяють такі ґрунтово-гідрологічні константи: максимально-адсорбційна вологоємність (МАВ), максимальна гігроскопічність (МГ), ґрунтова вологість стійкого в'янення рослин (ВВ), вологість розриву капілярів (ВРК), найменша (польова) вологоємність (НВ), повна вологоємність (ПВ). Приклад поділу форм ґрунтової вологи для суглинкових ґрунтів подано на рис. 5.4. (ліворуч — волога в нерухомому, праворуч — у динамічному стані), де зображено області переважання сил, якими вона утримується, а також діапазони її якості, різної за рухомістю. У інтервалі між повною та найменшою вологоємністю пересування вологи перебуває під спільним впливом гравітаційних та капілярних сил. Нижче від величини найменшої вологоємності до пересування вологи долучаються сорбційні сили у поєднанні з капілярними. Нижньою межею впливу капілярних сил вважають ВРК. Означені діапазони трьох основних форм води (міцно-, слабкозв'язаної та вільної) цікаві ще й тим, що, наприклад, межі існування



**Рис. 5.4. Форми ґрунтової вологи у ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу (за О.А. Роде)**

міцнозв'язаної води збігаються зі сферою впливу максимальної адсорбційної вологості. У спільній області слабкозв'язаної та вільної води з'являється її так звана плівково-підвішена форма. Якщо вміст вологи перевищує НВ, з'являється гравітаційна вода (просочується вниз, підперта, стікаюча, застійна тощо, залежно від ландшафтного положення ґрунту). Крім капілярної вологості (КВ, яка взагалі не є константою, оскільки змінюється в межах «повна — найменша вологості»), на рис. 5.5 зображені також інші ґрунтово-гідрологічні константи.



**Рис. 5.5. Ґрунтово-гiдролоґiчні константи дерново-пiдзолистого ґрунту (а) i чорнозему типового (б)**

Найбiльше екологiчне, агрономiчне й мелiоративне значення має iнтервал доступної вологи мiж найменшою вологоємнiстю i вологiстю розриву капiлярного зв'язку. Саме в цьому iнтервалi забезпечується нормальний рiст i розвиток рослин i численної бiоти ґрунту. У кожній ґрунтово-клiматичнiй зонi формується повний запас ґрунтової вологи, що забезпечує той чи iнший рiвень потреби у волозi вiдповiдних екосистем. Наприклад, деякi зерновi культури задовiльно виростають при вологостi, що ледь перевищує ВРК, а овочевим культурам потрібний бiльш високий рiвень зволоження.

Розрiзняють загальний запас вологи в ґрунті (визначають з урахуванням гiрбизни шару, щiльностi) i середнiй вiмiст вологи в цьому шарi. Вологiсть в об'ємних вiдсотках (масова вологiсть помножена на щiльнiсть) у шарi ґрунту 10 см чисельно дорiвнює запасу води в цьому шарi у мм водяного стовпа (тобто, якщо в шарi 0 – 10 см мiститься, наприклад, 10 % вологи, це вiдповiдає шару води 10 мм). Знаючи пошаровi запаси вологи i вiдповiднi їi запаси при вологостi в'янення, можна визначити запас продуктивної (корисної) ґрунтової вологи в певний момент, а пiдсумовуючи їх, — за рiзнi промiжки часу (мiсяць, сезон, рiк).

Воднi властивостi ґрунтів характеризуються сукупнiстю властивостей, якi визначають поглинання, збереження i пересування в них

води (передусім сорбцією, усмоктуванням, фільтрацією, водопідйомною здатністю), а також енергетичні властивості, що становить потенціал ґрунтової вологи і всмоктувальної сили ґрунту.

Сорбція включає хемосорбцію вологи з включенням її до складу ґрунтових компонентів (наприклад, гіпсу), сорбцію пари води та адсорбцію вологи у рідкому стані і тим самим визначає собою розглянуті вище види вологостійкості. Всмоктування і фільтрацію вважають двома стадіями водопроникності. Перша з них відповідає ненасиченому стану ґрунту, а друга — насиченому, коли рух вологи підпорядковується закону Дарсі і залежить від гідравлічного напору (ГН) та об'єму рідини (Q), що протікає через одиницю площі поперечного перерізу ґрунту (S) за час t:

$$K = Q/St,$$

де K — коефіцієнтфільтрації.

Усвою чергу Q визначають з рівняння:

$$Q = K \cdot \text{ГН}.$$

Швидкість поглинання безпосередньо залежить від величини шпаруватості і, найголовніше, від розміру шпар: чим вища шпаруватість і крупніші шпари, тим більшою буде водопроникність. Для слабкоструктурних ґрунтів водопроникність майже функціонально залежить від їхнього гранулометричного складу і щільності укладання компонентів. Для добре оструктурених ґрунтів водопроникність визначається розміром міжагрегатних шпар і залежить від ступеня окультуреності верхнього шару ґрунтів. Якщо волога надходить у сухий ґрунт, то водопроникність буває дуже значною (цей етап, названий Г.М. Висоцьким інфлюкцією, триває доти, поки великі пустоти, проміжки, тріщини, ходи хробаків, коренів, кротовини не заповняться вологою), а потім вона слабшає, зберігаючи при цьому свою залежність від гранулометричного складу (у дрібнозернистих послаблення відбувається різкіше, ніж у грубозернистих), оструктуреності (у добре оструктурених цей процес є більш уповільненим, ніж у погано оструктурених ґрунтах),

від складу поглинених катіонів (при насиченні Na і набряканні набагато швидше, ніж при насиченні колоїдів Ca чи Fe). Водопроникність ґрунту є дуже змінним параметром, як у часі (динамічність), так і в просторі (строкатість) — через розбіжність щільності та інших властивостей ґрунтового покриву, нано- та мікрорельєфу, наявність неоднорідностей у профілі (насамперед шаруватості) тощо. Якщо ґрунт пропускає за одну годину  $> 1000$  мм води при напорі 5 см, його водопроникність є провальною, 1000 – 500 мм — надвисокою, 500 – 100 — оптимальною, 100 – 70 — доброю, 70 – 30 — задовільною,  $< 30$  мм — незадовільною (Н.А. Качинський).

Водопідйомна здатність характеризує здатність вологи підніматися ґрунтовими капілярами. Через гідрофільність мінеральних ґрунтів їх капіляри добре змочуються водою, в них утворюються увігнуті меніски, які спричинюють поверхневий натяг, що ініціює підняття вологи. Чим тоншими є капіляри, тим вище піднімається волога. Якщо в піщаних ґрунтах максимальна висота капілярного підйому не перевищує 0,5 – 0,7 м, то в суглинистих вона є на порядок більшою (до 3 – 6 м), а в глинистих — знову зменшується (особливо помітно при їх солонцюватості). Швидкість капілярного підняття вологи також залежить від діаметра капілярів і вологості ґрунту. У посушливих (аридних) умовах підняття вологи здійснюється повільніше, ніж в гумідних. У цілому швидкість підняття вологи здійснюється згідно з кривою параболічного типу (висока швидкість на початку і подальше поступове згасання). При досягненні рівня капілярної вологості швидкість підняття вологи падає. Важливу роль при капілярному підняття вологи відіграє температура, яка дуже впливає на в'язкість води. Капілярні підняття вологи за умови, що кореневмісний шар потрапляє в зону його впливу, набуває великого екологічного значення для ґрунтоутворення та агрономічної практики, оскільки водний і сольовий баланс, процеси оглеєння, живлення рослин та багато інших моментів є залежними від капілярного підняття вологи.

Джерела та способи пересування води в ґрунті. Найважливішим джерелом ґрунтової вологи є атмосферні опади, кількість і розподіл яких протягом року визначаються кліматом, а надходження до ґрунту (сніг, град, дощ) — головним чином рельєфом місцевості і фітоекологічним станом поверхні (частина їх затримується рослинністю). В Україні чітко виділяють три зони зволоження: надлишкового (надходження вологи до ґрунту перевищує її випаровування); нестійкого (витрачається і надходить до ґрунту приблизно порівну); недостатнього (випаровування переважає зволоження).

Другим джерелом надходження вологи до ґрунту є конденсація на поверхні ґрунту й у верхніх її шарах пароподібної вологи з атмосфери. Її кількість невелика, оскільки конденсація відбувається лише в поверхневому шарі ґрунту 10 – 15 мм завтовшки. Волога, сконденсована вночі, вранці випаровується. І тільки в грубозернистих (піщаних) ґрунтах (і породах) водяна пара з атмосфери може проникати досить глибоко (конденсуючись там, вона помітно поповнює запаси ґрунтової вологи і підґрунтових вод).

Третім джерелом ґрунтової вологи можуть бути підґрунтові води. Зазвичай підземні води містяться надто глибоко, що виключає їх зв'язок з ґрунтами. Проте там, де вони наближаються до поверхні — на схилах, їх шлейфах, в підошві, капілярні сили спрямовують їх до ґрунтового профілю. За відсутності опадів, коли вода лише випаровується з ґрунту, така волога суттєво поповнює її втрати з нього, сприяючи цим також засоленню ґрунтів.

Пересування води в ґрунті здійснюється під дією гравітаційних сил, капілярним, плівковим шляхом (з місць, де тиск вище, туди, де він нижче), і, нарешті, у вигляді пари (див. вище).

Енергетика ґрунтової вологи істотно залежить від сил, що виникають на поверхнях поділу твердих, рідких і газоподібних фаз, а також зумовлюється кривизною поверхні поділу між рідкими і газовими фазами.



Ступінь їх впливу на енергетику води багато в чому залежить від структури, будови, складу (гранулометричного, мінералогічного, хімічного) твердих фаз ґрунту.

Неодмінна присутність у ґрунтовій воді розчинених речовин закономірно обмежує її рухомість. У глинистих, солонцюватих та інших схильних до набухання ґрунтах енергетика вологи потрапляє в особливо чітку залежність від поверхневих явищ у колоїдно-дисперсних системах. Чітку енергетичну дію виявляють також гравітаційні сили, температура, атмосферний тиск. Виражають результат впливу перелічених сил через потенціал води як ступінь її повної потенціальної енергії в ґрунті, адекватну питомій потенціальній енергії води в ґрунті щодо її енергії у вихідному (стандартному) стані, яким вважають стан чистої води в резервуарі, розмішеному на висоті  $H_0$  за стандартних атмосферного тиску  $P_0$  і температурі  $T_0$ .

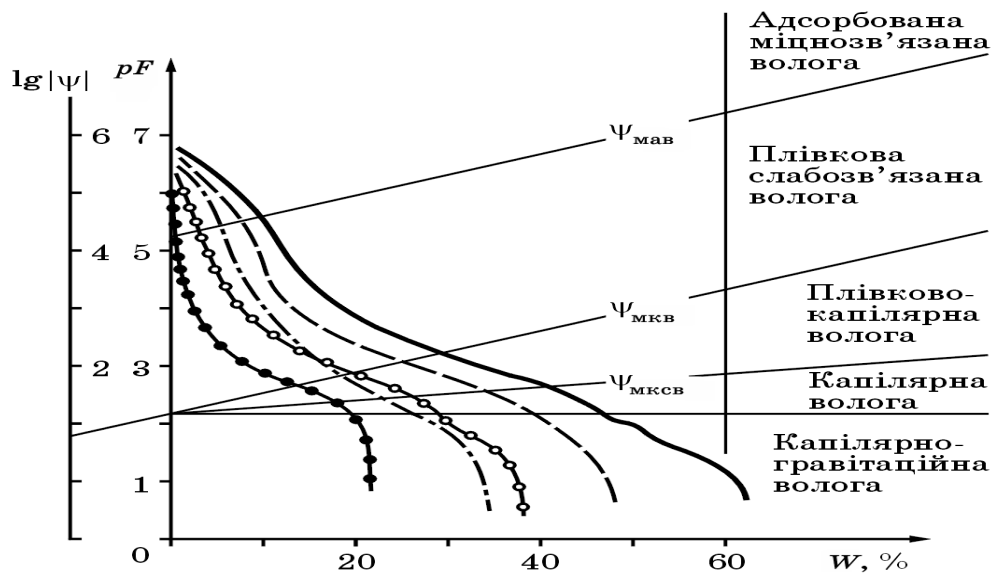
Оцінка енергетичного стану ґрунтової води ґрунтується на парціальній (питомій) вільній енергії Гіббса, яка характеризує хімічний (фактично, термодинамічний) потенціал води в ґрунті, що виражається через постулати першого (збереження енергії у теплових процесах) і другого (ентропія — зміна енергії при оборотних і необоротних процесах) законів термодинаміки (в сумі окремих — осмотичного, гравітаційного, капілярного, пневматичного — потенціалів). Повний термодинамічний потенціал — це робота, яка повинна бути витрачена для оборотного й ізотермічного (при константній температурі) перенесення з одного місця ґрунту в інше дуже малої кількості чистої води, що перебуває при атмосферному тиску і на умовному гідростатичному рівні. Окремо використовуються також і згадані часткові потенціали — осмотичний потенціал, що описує частину роботи, яка витрачається на переміщення в ґрунті води, що перебуває під фізико-хімічним впливом солей; гравітаційний — сил ваги; капілярний — плівок і капілярів; пневматичний — атмосферного тиску.

Потенціал вологи перебуває у діапазоні 0 – 10 000 атм. Ґрунт, повністю насичений водою без солей, має нульовий потенціал ґрунтової вологи. Висушування ґрунту сприяє зростанню її потенціалу і появі феномену всмоктувальної сили ґрунту. Потенціал ґрунтової вологи зручно виражати в  $pF$ , який означає логарифм усмоктувального тиску (1 атм. відповідає  $pF = 3$ ). При нульовій вологості ґрунту  $pF$  досягає межі, що дорівнює семи.

Енергетична концепція ґрунтової вологи багато в чому протиставляється уявленням про ґрунтово-гідрологічні константи, оскільки заперечує наявність переломних точок на кривій водоутримання. Поділяючи вологу за природою сил, що утримують її в ґрунті, вона певною мірою ігнорує її поділ за рухомістю (точніше, за формою та швидкістю пересування). Тривалий час ці концепції конфліктували між собою, але тепер знайдено компроміс (рис. 5.6). Незважаючи на те, що залежність капілярно-сорбційного потенціалу від вологості є континуальною кривою без різких перегинів в усьому діапазоні вологості, все ж ця крива не підкоряється єдиній математичній залежності. Лише окремі ділянки кривої вдається формалізувати. Це вказує на розбіжності в характері взаємодії води з твердими фазами ґрунту при різних вологостях і станах, які є описаними вище категоріями та формами ґрунтової вологи.

Водний баланс ґрунту — це сукупність надходжень і витрат вологи в ґрунті:

$$W_0 + O + Q_{гр} + Q_{к} = E_{в} + E_{р} + Q_i + Q_{п.с} + W_t + \Delta W,$$



**Рис. 5.6. Залежність потенціалу ґрунтової вологи ( $\lg|\Psi|, pF$ ) від вологості ( $W, \%$ ):**

$\Psi_{мав}, \Psi_{мкв}, \Psi_{мксв}$  — потенціал вологи відповідно адсорбованої міцнозв'язаної, капілярно-сорбційної та капілярної

де  $W_0$  — запас вологи в ґрунтовій товщі на початку визначеного періоду;  $O$  — сума опадів за період дослідження;  $Q_{гр}$  — кількість вологи, що надійшла в ґрунт із ґрунтових вод;  $Q_k$  — величина конденсації за весь період;  $E_v$  — величина випаровування з поверхні ґрунту (фізичний випаровування);  $E_r$  — транспірація рослин;  $Q_i$  — витрати води на інфільтрацію за аналізований період;  $Q_{п.с}$  — величина поверхневого стоку за той самий період;  $W_t$  — запас вологи в ґрунтовій товщі наприкінці періоду;  $\Delta W$  — зміна запасу вологи за той самий період.

Як і в будь-якому балансі, алгебрична сума надходження та витрат вологи повинна дорівнювати нулю. Водний баланс звичайно обмежують часом (багаторічний, річний, сезонний, місячний тощо) і простором (континент, водозбірний басейн, долинний ландшафт, поле сівозміни, еколого-генетичний тип ґрунту, його орний, підорний або інший шар тощо).

Надходження до балансу дають атмосферні опади, конденсація парів води з атмосфери, бічний приплив вологи із сусідніх ділянок едафокатени, а також підтягування вологи з глибини чи з підґрунтових вод. Витратами балансу вважають фізичне випаровування з ґрунту, транспірацію, різні види відтоку за межі визначеного об'єму (в глибокі шари чи горизонти,

міграція пари тощо). Якщо  $\Delta W$  за досліджуваний період є нульовою, це означає, що за цей час не відбулося ні висушування, ні зволоження ґрунту.

Оскільки значущість окремих статей загального балансу є різною, для практичних цілей обмежуються найважливішими з них за формулою О.А. Роде:

$$W_t = W_0 + O + Q_{гр} - (E_v + E_p + Q_i).$$

Визначення балансу вологи (з обліком усіх статей надходження і витрат вологи) є непростю процедурою, яка потребує певного ґрунтово-екологічного досвіду, відповідного обладнання (снігоміри, опадоміри, випарники, лізиметри), застосування аерокосмічних методів, комп'ютерних (інфологічних) технологій (ГІС) тощо.

Поверхневий стік та його регулювання. Частина вологи, що надійшла на поверхню ґрунту, стікає по ній, утворюючи поверхневий стік, особливо помітний навесні, під час сніготанення, влітку і восени при випаданні рясних дощів і злив. Його величина залежить від багатьох причин, у тому числі від кута схилу, кількості опадів, їх інтенсивності, водопроникності ґрунту, його вологості, оструктуреності, агрофону, глибини промерзання. Коефіцієнт стоку (відношення кількості вологи в ньому до кількості опадів, що випали, %) змінюється від 100 до 0 % залежно від метеорологічних та інших умов. У окремі роки майже вся снігова вода втрачається з поверхневим стоком, в інші — повністю всмоктується в ґрунт. Загалом, чим меншим є запас снігу, тим сильніше промерзає ґрунт і більшим стає коефіцієнт стоку.

Із ділянок, вкритих лісом, лучними, степовими травами, сільськогосподарськими культурами суцільного висіву, стік мінімізується порівняно з ріллею. Ґрунт у лісі ще до початку сніготанення встигає відтанути, а на ріллі він ще довго залишається глибоко промерзлим. При цьому в лісі сніготанення сповільнюється, внаслідок чого вода надходить рівномірно, встигаючи повністю всмоктатися у ґрунт. Наявність лісової підстилки і краща оструктуреність лісових ґрунтів також сприяють

збільшенню їх водопроникності проти орних ґрунтів.

Процес поверхневого стоку є багатофазним. Його перша фаза є безстічною, оскільки на початку дощу стік не утворюється — всі опади йдуть на заповнення поглиблень і нерівностей ґрунту (поверхневу акумуляцію) і просочування у ґрунт (інфільтрація), а частина їх затримується листям і стеблами рослин. Друга фаза започатковується появою перших струмків поверхневого стоку, третя — відповідає формуванню повного стоку з усієї площі водозбірного басейну, а четверта (остання) фаза — продовженню стоку після дощу. Це спрощена схема стоку, який у реальних ландшафтних умовах є значно складнішим через нерівномірність дощів, гетерогенність ґрунтово-екологічних та багатьох інших впливових чинників.

Танення снігу формує стік за майже аналогічними закономірностями. Спочатку вся вода затримується снігом, вологоємність якого може досягати 50 %, а також у нерівностях, нано- та мікропоглибленнях водозбірного басейну. Їх заповнення забирає немало води. Мерзлі прошарки ґрунту і крижана кірка стримують просочування. На відміну від дощів, найбільші втрати спостерігаються не на початку, а наприкінці сніготанення. Нерівномірне залягання снігу зумовлює специфічну динаміку й територіальну строкатість процесів сніготанення. Спочатку сніг тане на відкритих місцях і на південних схилах, потім — у глибоких зниженнях і, нарешті, — у заростях чагарників і в лісі. Коефіцієнт стоку від сніготанення звичайно перевищує коефіцієнт стоку від дощів, проте у південних регіонах сніг іноді відтаює весь, не утворюючи стоку (особливо а разі затяжного сніготанення, при малих його запасах і на слабкопромерзлих ґрунтах).

Прогноз поверхневого стоку та його інтенсивності є важливим інженерно-екологічним завданням, вирішення якого дає змогу агрономам, землевпорядникам, фермерам розробляти раціональні заходи захисту сільськогосподарських територій від руйнівних наслідків стоку. При його

вирішенні використовують багаторічні стокоформувальні параметри клімату (ймовірність акумуляції снігу, швидкість його танення), а також параметри поверхні (ступінь зволоженості, інфільтраційну здатність, тип агрофону) і складають прогнози максимальної витрати талих і зливових вод.

Поверхневий стік в Україні може утворюватися вже при інтенсивності дощу 0,5 мм/хв і загальному шарі опадів понад 15 – 20 мм.

Поталі води часто стікають з ланів, змиваючи при цьому верхні найродючіші горизонти ґрунту, ініціюють виникнення яруг, посилюють дефіцит вологи, вкрай небажаний для сільськогосподарського виробництва (особливо в Україні, де посушливі роки є звичайним явищем). Найбільш радикальним засобом поповнення водних ресурсів є регулювання стоку (бажано з повною його затримкою на ланах, в зниженнях рельєфу тощо).

Регулювання стоку здійснюють різними агролісомеліоративними, агротехнічними та іншими засобами (управління сніготаненням, глибиною і напрямком обробітку, облаштування різних уловлювачів стоку — щілин, лунок, валів тощо), які, однак, діють далеко не завжди ефективно. Керування стоком стає ефективним лише за умови ретельного обліку всіх ландшафтно-біокліматичних особливостей з вибором адекватного їм екологічно орієнтованого комплексу згаданих вище заходів — складових блоків регіональної протиерозійної (Г.І. Горохов) організації території. Наприклад, у Степу і південному Лісостепу рекомендується провадити (Г.П. Сурмач):

- глибоку зяблеву оранку на 27 – 30 (35) см — звичайну (з оборотом шару), ґрунтопоглиблювальну (без обороту — плоскорізну) та снігозатримання;

- окультурювання ґрунтів (формування добре гумусованого глибокого орного шару);

- створення на ріллі водоемного мікро- та нанорельєфу з розпущеним ґрунтом — зменшує стік на 10 мм, а під просапними затримує зливі

опади, вдвічі більші за ємність мікрорельєфу;

- перехоплення стоку на межі й усередині ланів лісосмугами посиленими найпростішими гідротехнічними спорудами;

- застосування в сильноеродованих ландшафтах ґрунтозахисних сівозмін;

- створення лісолучного поясу біля гідрографічної мережі тощо;

- на сильно порізаних вимоїнами та яругами схилах вирівнювання та часткове засипання їх укосів у комплексі з водорегулювальними валами і травосіянням;

- регулювання скидання непоглиненої стічної води для зменшення змиву і розмиву ґрунтів;

- закріплення активних вершин яруг (залісненням та залуженням сильноеродованих крутосхилів і берегів гідрографічної мережі тощо).

Водний режим ґрунтів діагностується за коефіцієнтом зволоження (КЗ), розрахованим методом Г.М. Висоцького:

$$КЗ = \Sigma_{оп} / E,$$

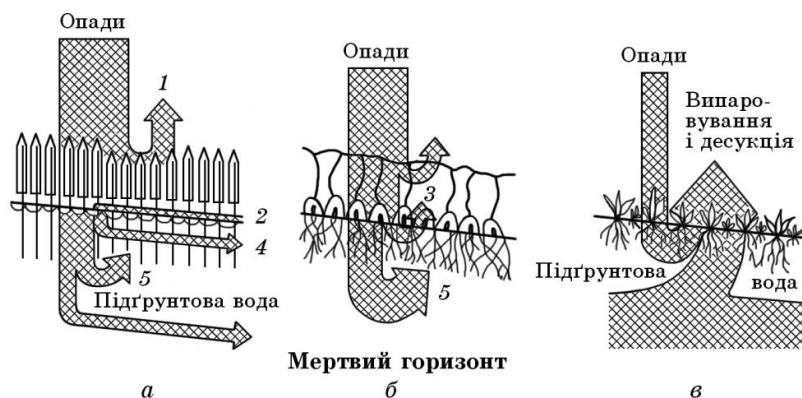
де  $\Sigma_{оп}$  — сума опадів за рік, мм; E — випаровуваність (максимум вологи, здатної випаруватися з відкритої водної поверхні) за рік, мм.

Залежно від величини КЗ виділяють промивний (>1), періодично промивний (>1, <1), непромивний (близько 1), випітний (<1) типи водного режиму, до яких О.А. Роде додав мерзлотний, іригаційний, заплавний (рис. 5.7).

Промивний (пермацидний) тип вирізняється щорічним промочуванням усієї товщі ґрунто-підґрунтя до підґрунтових вод. Частина атмосферних опадів просочується через ґрунт і втрачається з ґрунтовим стоком. Цей тип водного режиму характерний для багатьох ґрунтів лісової зони, у тому числі й Українського Полісся, сприяючи формуванню в цих умовах дерново-підзолистих ґрунтів.

Періодично промивний тип є характерним для регіонів з приблизно однаковою річною величиною опадів і випаровування (північ Лісостепу, де

домінують опідзолені, у тому числі чорноземні, ґрунти). Залежно від умов року (кількості опадів) формується промивний або непромивний тип водного режиму.



**Рис. 5.7. Схема промивного (а), непромивного (б), випітного (в) типів водного режиму (за О.А. Роде):**

1, 3 — випаровування з поверхні відповідно рослин і ґрунту, 2 — поверхневий стік; 4 — підґрунтовий стік; 5 — десукція рослинами

Непромивний тип формується на територіях степу і напівпустель із чорноземами звичайними, південними, каштановими ґрунтами, де опадів випадає менше, ніж випаровується, глибина промокання є невеликою, а між нею і капілярною облямівкою лежить шар з постійною вологістю, близькою до вологості в'янення (мертвий горизонт).

Випітний (ексудативний) тип притаманний ландшафтам з близьким заляганням підґрунтових (нерідко засолених) вод, за участю яких формуються солончакові та солонцюваті ґрунти сухих степів, напівпустель і пустель.

Мерзлотний (кріогенний) тип характеризується наявністю багаторічної мерзлоти, що діє як водоупір, над яким утворюється верховодка. Із цієї причини ґрунти, де домінує цей тип (північні території, тундра), перезволожені й оглеєні.

Іригаційний тип зрошуваних територій, залежно від сезону року,



може змінюватися від промивного (за інтенсивного зрошення) до випітного (без штучної подачі води).

Заплавний тип відрізняється затопленням найнижчого гіпсометричного рівня річкової долини повеневими та паводковими водами, алювіальністю, гідроморфізмом тощо.

Типи водного режиму поділяють на підтипи (О.А. Роде, В.А. Ковда, Б.Г. Розанов): промивний — тайговий, напівболотний, болотний, ґрунтово-тайговий, ґрунтово-напівболотний, ґрунтово-болотний, тайговий глибокопромивний; періодично промивний — лісостеповий і степовий потускулярний; непромивний — степовий з глибоким сухим горизонтом і степовий; випітний — на лучно-степовий, лучний і солончаковий.

Регулювання водного режиму здійснюють з метою оптимізації умов зволоження. В Україні дуже мало природних ландшафтів, де без додаткових заходів забезпечується агроекологічно оптимальний режим зволоження, через що його доводиться поліпшувати. У зоні Полісся необхідно звільнитися від надлишку вологи, тут потрібно в кореневмісному шарі залишити стільки води, скільки потребує польова культура для транспірації і, відповідно, одержання досить високого врожаю. У Степу, навпаки, варто широко використовувати полив. Однак і в більш помірному кліматі епізодично спостерігається дефіцит або надлишок води, які слід коригувати.

Дефіцит вологи (передусім у верхніх шарах ґрунту) є особливо нищівним на початку вегетаційного періоду. Наприкінці літа в степових регіонах у кореневмісному шарі ґрунту запаси доступної вологи стають зовсім незначними, тому її вміст до наступної весни майже повністю визначається кількістю пізньоосінніх опадів, а також ступенем використання поталих вод. Створення значних запасів вологи в ґрунті навесні повинно розпочинатися з осені за допомогою зяблевого обробітку впоперек схилу (де реально існує небезпека втрати води з поверхневим стоком), снігозатримання (там, де формується стійкий сніговий покрив),

формування куліс (одночасно гальмують швидкість вітру і перешкоджають розвитку ерозії та дефляції) і лісосмуг (перешкоджають здуванню снігу з ланів).

Весняне збереження вологи в ґрунті передбачає створення обробітком мульчуючого шару ґрунтів з дрібних агрегатів, що перешкоджає фізичному випаровуванню — це боронування та міжрядні розпушування. Поля необхідно очищати від бур'янів, які непродуктивно витрачають надто багато вологи, а до сівозмін слід включати одне-два поля чорного пару.

Водний режим перезволожених ґрунтів регулюють розпушуванням підорного шару, створенням грядок і гребенів на поверхні для садіння картоплі, профілюванням схилів для безпечного відведення вологи. Але в цих умовах найефективнішим є осушення з одночасним відведенням зайвої вологи та її подачею в періоди, коли верхні шари ґрунту пересихають і культури без води гинуть. Загалом для регулювання водного режиму застосовують екологізований комплекс гідротехнічних, агролісо- та фітомеліоративних, агротехнічних та інших заходів.

Підґрунтові води — це перший від поверхні постійний горизонт підземних вод. Часом формується їх тимчасовий рівень — верховодка, яка збирається у вигляді несучільного шару вологи над лінзами водонепроникних порід за низхідного току (інфільтрації) атмосферної вологи. Запаси такої води є невеликими, нестійкими в часі (у маловодні роки вони відсутні) і невеликі за площею. Із цієї причини вплив верховодки на ґрунтоутворення і родючість є незначним (локальним і тимчасовим). Якщо ж водоносний горизонт залягає неглибоко, а капілярна облямівка охоплює ґрунтовий профіль, то за таких умов підґрунтова вода стає важливим чинником ґрунтоутворного процесу і, відповідно, родючості. Однак агроекологічна оцінка її впливу може бути як позитивною, так і негативною (передусім, за підвищеної мінералізації).

В Україні значно поширені різні типи підґрунтових вод,

приурочених до давньоалювіальних товщ річкових долин Полісся, Лісостепу та Степу, флювіогляціальних відкладів, передгірних і гірських зон, узбережжя морів тощо. Вони розрізняються за дебітом, коливаннями рівнів, швидкістю руху, сольовим складом. Їх живлення визначається кількістю атмосферних опадів, рельєфом, випаровуваністю, літогенетичними чинниками. Із північного заходу на південний схід України глибина залягання підґрунтових вод знижується, а їх мінералізація зростає. У Поліссі переважають їх глибини менше від двох, а то й 1 м, отже, вплив підґрунтових вод на ґрунтотворення тут є найбільш виразним, оскільки формуються оглеєні та заболочені ґрунти. У плакорових ландшафтах Лісостепу та Степу підґрунтові води поглиблюються до 5 – 10 м і глибше, а їх мінералізація часом перевищує 5 г/л. Із цієї причини тут майже не трапляється зональних оглеєних ґрунтів, за винятком подів і блюдець на молодих (пізньопліоценових) лесових терасах — прилуцько-удайській (однолесовій) тощо. Але там, де підґрунтові води вище від рівня 4 – 5 м, утворюються ґрунти засолені тією чи іншою мірою.

Кількість і хімізм солей у підґрунтових водах вирішальним чином впливають на морфогенетичні властивості ґрунтового профілю. Заболочування зазвичай супроводжує ґрунтотворення на плоских рівнинах, складених легкими породами, підстеленими на деякій глибині водонепроникними глинами. За таких ландшафтних умов ґрунтово-підґрунтові води мають постійний взаємозв'язок з ґрунтом. Вирівняність ландшафту перешкоджає їхньому стоку, а літологічно зумовлена збідненість материнських порід пояснює відсутність у них солей. На ґрунтах, зв'язаних з ґрунтово-підґрунтовими водами, поселяються рослини переважно з низькими величинами транспірації. Внаслідок цього і десукція тут є мінімальною, що також сприяє накопиченню вологи.

Заболочування прісними водами спричинює оглеєвання материнської породи, а в подальшому — плямисте, не суцільне, мозаїчне, залізисто-гумусне оглеєння І-горизонту, після чого на поверхні

починається торфоутворення, що посилюється з підняттям рівня підгрунтової води. У такий спосіб формується торф'яно-глейовий ґрунт, який еволюціонує в торфовище.

За іншою схемою відбувається заболочування жорсткими підгрунтовими водами з високим вмістом  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , зумовленим їх контактом з вапняками, мергелями, карбонатними моренами та іншими збагаченими кальцієвмісними породами. Основною особливістю сформованих за їх участю дерново-підзолисто-глейових ґрунтів є оглеєння з накопиченням гумусу за нейтральної реакції. Цьому сприяє надлишкове зволоження (пригнічує окисні процеси) та наявність бікарбонату кальцію (закріплює гумусові сполуки). Присутність у воді гідролітично лужних солей є причиною нейтралізації органічних кислот, що утворюються при розкладанні фіторешток. Тому реакція гумусового горизонту у таких ґрунтах є нейтральною. При контакті ґрунтового профілю із залізистими підгрунтовими водами в ньому утворюються оруденілі вохристі прошарки внаслідок окиснення закисних сполук заліза.

Регулювання рівня підгрунтових вод у ґрунтах з явними ознаками оглеєння або засолення рекомендується здійснювати за рахунок зниження їх рівня різними методами відкритого чи закритого дренажу. Особливої уваги заслуговують підгрунтові води при зрошенні. Систематичний контроль за ними тут є обов'язковим, оскільки в процесі зрошення підгрунтові води мають тенденцію до підняття. Відповідно зростає небезпека вторинного засолення, передусім у ландшафтах Лісостепу і особливо Степу, де підгрунтові води, як правило, є в тією чи іншою мірою засоленими.

Зменшення втрат води зі зрошувальної мережі на фільтрацію затримує підняття рівня підгрунтових вод і, отже, є запобіжним засобом боротьби з підвищенням їх рівня при зрошенні. Цьому ж сприяє правильна експлуатація мережі. При поливах до неї не повинно надходити води більше від передбаченої проектом водокористування. Водорозподіл

повинен забезпечувати оптимальність режиму поливу і здійснюватися з найменшими перекиданнями води по каналах, що зменшує її втрати на фільтрацію. Максимізація ККД поливної води повинна бути лейтмотивом екологізованої системи агромеліоративних заходів, водночас спрямованих на запобігання небажаному підняттю рівня підґрунтових вод:

- максимальна фітопокритість ланів культурною рослинністю, яка зменшує випаровування води та гальмує підтягування солей з підґрунтових вод;

- культивування багаторічних трав, яке оптимізує фізичні властивості, що також знижує випаровування і запобігає соленакопиченню;

- ощадливі способи поливу (лише поповнення дефіциту найменшої вологості);

- постійне розпушування поверхні ґрунту в раціональній системі його обробітку і живлення рослин.

У ландшафтах Полісся зниження рівня підґрунтових вод рекомендується здійснювати осушувально-зволожувальним способом (агримеліоративні системи подвійного регулювання) з розрахунку створення достатньо глибокого кореневмісного шару та можливого його поповнення прісною ґрунтовою водою в періоди гострої потреби рослин у воді. У Степу вторинне використання дренажних вод для зрошення обмежується їх мінералізацією, через що вони зазвичай стікають у штучні чи природні зниження, водойми, ріки.

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Стан, форми і категорії води в ґрунті.
2. Ґрунтово-гідрологічні константи.
3. Водні властивості, водний режим та водний баланс ґрунтів.
4. Управління водним режимом ґрунтів.

## РОЗДІЛ 6. ПОВІТРЯНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Ґрунтове повітря – важлива, найбільш динамічна складова частина ґрунту, яка знаходиться в тісній взаємодії із твердою, рідкою та живою фазами ґрунту.

Ґрунтове повітря є джерелом кисню для дихання коренів рослин, аеробних мікроорганізмів та ґрунтової фауни. Повітря ґрунту – це суміш газів і летких органічних сполук, які заповнюють пори ґрунту, вільні від води.

Кисень ґрунтового повітря активно бере участь в хімічних реакціях мінеральних і органічних сполук.

Ґрунтове повітря є джерелом двоокису вуглецю для рослин, який використовується у фотосинтезі. Від всієї кількості CO<sub>2</sub>, яка використовується на створення врожаю, від 38 до 72% надходить в рослини з ґрунту.

Повітря знаходиться у ґрунті у наступних станах:

- вільному,
- затиснутому,
- адсорбованому
- розчиненому.

Ґрунтове повітря у *вільному стані* знаходиться у грубих некапілярних та капілярних порах ґрунту, вільно рухається в ньому, забезпечує аерацію та газообмін між ґрунтом і атмосферою.

*Затиснуте ґрунтове повітря* – повітря, що знаходиться в порах і зі всіх сторін ізольоване водними пробками. У глинистих ґрунтах вміст затиснутого повітря може досягати 12% і більше, а в середньому 6-8% загального об'єму ґрунту.

Затиснуте повітря нерухоме, практично не бере участі у газообміні, заважає фільтрації води у ґрунті. Виринаючись із пор під тиском води,

затиснуте повітря може викликати руйнування структурних агрегатів ґрунту.

*Абсорбоване ґрунтове повітря* – гази та леткі органічні сполуки, адсорбовані на поверхні часток ґрунту. Чим дисперсніший ґрунт, тим більший вміст у ньому адсорбованих газів при даній температурі. Адсорбція газів сильніша у ґрунтах важкого гранулометричного складу, які містять велику кількість органічної речовини. Більш активно, ніж гази ґрунтові частки поглинають водні пари.

*Розчинене ґрунтове повітря* – гази, розчинені у ґрунтовій воді. Розчинність газів зростає із підвищенням їх концентрації у вільному ґрунтовому повітрі, а також зі зниженням температури ґрунту. Найкраще розчиняються у воді аміак, сірководень та діоксин вуглецю.

Потреба у кисні коренів рослин задовольняється головним чином за рахунок вільного ґрунтового повітря.

Перші відомості про склад ґрунтового повітря були отримані Ж. Бусенго у 1824 році. У першій половині ХХ ст. знання про його склад поповнили праці О.Г. Дояренко, Б. Кіна, Е. Расселя та ін. Склад повітря у ґрунті відрізняється від атмосферного динамічністю, непостійністю свого складу. Атмосферне повітря має більш-менш постійний склад: 78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>, майже 1% Ar, 0,03% CO<sub>2</sub>. Серед компонентів ґрунтового повітря O<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub> - найбільш динамічні, їх вміст коливається в значних межах, залежно від інтенсивності мікробіологічних процесів, взагалі процесів «дихання» ґрунту, а також швидкості газообміну між ґрунтом та атмосферою.

Вміст CO<sub>2</sub> в ґрунтовому повітрі може бути в сотні і десятки разів вищим, ніж у атмосферному, а концентрація O<sub>2</sub> може знизитися до 10% і нижче.

У ґрунтах під ріллею з доброю аерацією, сприятливими фізичними властивостями вміст кисню протягом вегетаційного періоду не буває нижче 18,

а вміст  $\text{CO}_2$  - вище 1-2%. Перезволоження ґрунтів важкого механічного складу може підвищити вміст  $\text{CO}_2$  в їх орному шарі до 4-6%, а вміст  $\text{O}_2$  знизити до 15%.

Гази можуть рухатися у ґрунті як порами вільними від води, так і в розчиненій формі через ґрунтову вологу. Зниження інтенсивності процесу аерації, викликане незадовільним дренажем, перезволоженням та переущільненням ґрунтів здатне сильно затримувати ріст рослин. Різке погіршення аерації може бути пов'язане з неодноразовими проходками важкої сільськогосподарської техніки по поверхні ґрунту при внесенні добрив, боротьбі з бур'янами, шкідниками і хворобами, при збиранні врожаю. На думку А.Д.Вороніна (1986), в наш час аерація ґрунтів стала основним лімітуючим фактором підвищення урожайності сільськогосподарських культур, так як недостача елементів живлення і води може бути успішно компенсована, а вміст кисню підвищити важко.

Вміст азоту у ґрунтовому повітрі теж може зменшуватись чи збільшуватись. В анаеробних умовах в ґрунті відбуваються відповідні реакції, як хімічні, так і біохімічні. Наприклад, денітрифікація відбувається за такою схемою:  $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ . В невеликій кількості в ґрунтовому повітрі завжди присутні леткі органічні сполуки різної природи (метан, етилен, тощо.). Інколи їх концентрація може досягати токсичних значень, особливо що стосується вмісту етилену, метану, аміаку та фосфіну в болотних ґрунтах.

В порах різного розміру склад ґрунтового повітря неоднорідний. В порах більшого розміру повітря більш рухоме, менш збагачене  $\text{CO}_2$  і більше містить  $\text{O}_2$ .

В крайніх випадках, за умов дуже утрудненої аерації, концентрація  $\text{O}_2$  може знизитися майже до нуля.

Слід пам'ятати, що перед тим, як рослини почнуть страждати від нестачі кисню, деякі у них можуть страждати від надлишку  $\text{CO}_2$  та інших газів.



## Газообмін повітря ґрунту з атмосферним

Газообмін ґрунту з атмосферою може відбуватися за двома механізмами:

- конвекції ;
- дифузії.

Основним механізмом газообміну є дифузія. При конвекції силою, що змушує повітря рухатися є градієнт загального тиску, що призводить до переміщення всієї маси повітря із зони з вищим у зону з нижчим тиском.

При дифузії рухаючою силою є градієнт парціального тиску будь-якого компонента газової суміші (повітря). Нерівномірно розподілені молекули рухаються із зони з більш високою концентрацією до зони з більш низькою, навіть коли газова суміш загалом перебуває в ізобарному стані. Надходження повітря в ґрунт з опадами, виштовхування назовні вологою ґрунтового і вбирання (засмоктування) атмосферного повітря - усі ці процеси також сприяють газообміну між ґрунтом та атмосферою.

Зміна температури ґрунту, атмосферного тиску, швидкості вітру, рівня підґрунтових вод - все це викликає зміни в об'ємі ґрунтового повітря, наслідком чого є надходження або вихід повітря з ґрунту.

Швидкість дифузії газів через ґрунт нижча, ніж в атмосферному повітрі. Цю швидкість оцінюють за коефіцієнтом дифузії, що дорівнює кількості речовин, яка проникає через  $1 \text{ см}^2$  поверхні при товщині шару  $1 \text{ см}$  та градієнті концентрації, що дорівнює одиниці.

Коефіцієнт дифузії в ґрунті завжди нижчий, ніж у «вільному» повітрі. Він зменшується при зниженні пористості аерації. Межею нормальної аерації є коефіцієнт дифузії  $\text{CO}_2$   $0,009 \text{ см}^2/\text{с}$ . При нижчому його значенні газообмін у ґрунті утруднений.

Дифузійний перенос газів у ґрунті відбувається частково в газовій, а частково - в рідкій фазі. Дифузія через пори, заповнені повітрям підтримує газообмін між ґрунтом та атмосферою, в той час як дифузія через водні

плівки різної товщини безпосередньо забезпечує постачання кисню до гідратованих живих тканин коренів, а також відбирання від них вуглекислоти. Таким чином, необхідна для рослин аерація забезпечується двома шляхами: через повітреносні пори та через плівки води.

Коефіцієнт дифузії у ґрунті менший від коефіцієнта дифузії в повітрі через те, що ґрунтові частки знижують поверхню взаємодії компонентів. Чим вища пористість аерації, тим вища і ця поверхня.

### **Повітряні властивості ґрунтів**

Стан газообміну у ґрунті оцінюють за такими повітряними властивостями ґрунту:

- повітрепроникність;
- повітремісткість.

**Повітрепроникність** - це здатність ґрунту пропускати через себе повітря. Її можна виміряти кількістю мілілітрів, що проходить через 1 см<sup>2</sup> ґрунту при товщині шару в 1 см за секунду. Чим вище повітряпроникність, тим краще забезпечується газообмін, тим більше O<sub>2</sub> і менше CO<sub>2</sub> в ґрунтовому повітрі.

Повітрепроникність залежить від ряду факторів: механічного складу ґрунту; структурного стану та пористості аерації; щільності зложення ґрунту; вологості.

Чим більші пори аерації, тим вища повітрепроникність.

**Повітремісткість** - це вміст повітря у ґрунті в процентах від об'єму. Цей показник залежить від тих же факторів, що і повітрепроникність. Чим вища пористість і менша вологість ґрунту, тим більше повітря міститься в ньому.

Максимальна повітреємність характерна для сухих ґрунтів і дорівнює їй загальній пористості. Особливе значення має пористість аерації ґрунту при його найменшій вологоємності (НВ). Її величина не повинна опускатися нижче 15%. Найкращі умови для аерації ґрунту створюються при пористості аерації 20-25% в мінеральних ґрунтах і 30-40% у болотних.

## Повітряний режим та його регулювання

Сукупність процесів надходження, руху, зміни складу та фізичного стану повітря у ґрунті, а також газообмін ґрунтового повітря з атмосферним створюють повітряний режим ґрунту.

Він залежить від фізичних, хімічних, фізико-хімічних, біологічних властивостей ґрунту, а також кліматичних і погодних умов, агрофону (вирощуваної культури та агротехніки).

Структурні ґрунти пухкого складення, що добре інфільтрують воду, мають високу некапілярну і капілярну пористість характеризуються оптимальним повітряним режимом. Ґрунти з постійним чи тимчасовим перезволоженням, навпаки, - потребують покращення повітряного режиму, тобто його регулювання за допомогою агротехнічних та меліоративних заходів.

Необхідність проведення цих заходів обґрунтовують основними показниками повітряного режиму: повітреємністю, повітрепроникністю, швидкістю дифузії, складом ґрунтового повітря, інтенсивністю виділення ґрунтом вуглекислоти. Пористість аерації для забезпечення сприятливих для рослин умов повинна бути не нижче 20-25% від об'єму ґрунту. На переущільнених і безструктурних ґрунтах навіть при оптимальній вологості (НВ) пористість аерації може бути нижчою за критичну величину (15%).

Допустимі норми складу ґрунтового повітря дуже залежать від температури ґрунту. Наприклад, у дерново-підзолистому суглинковому ґрунті оптимальний склад ґрунтового повітря має місце тоді, коли вміст  $\text{CO}_2$  не перевищує 2-3%, а концентрація  $\text{O}_2$  - не нижче 18-19%; при загальному вмісті повітря не менше 20% від об'єму ґрунту, якщо температура ґрунту понад 15°C. Якщо ж температура становить 10-15°C, сприятливі умови аерації забезпечуються при нижчій пористості аерації - 15-20%. В торфовищах пористість аерації повинна бути не нижчою 30-35% для забезпечення нормального газообміну.

Обробіток ґрунту покращує аерацію, підсилюючи інтенсивність газообміну, але це явище має тимчасовий характер. Покращення аерації може бути більш-менш тривалим лише в добре оструктуреному ґрунті. Мінімізація обробітку ґрунту сприяє зниженню амплітуди коливання щільності, збереженню вертикальних пор, що добре фільтрують воду і цим самим теж покращує аерацію ґрунту.

Біологічна активність (дихання) ґрунту коливається в широких межах (0,5-10 кг/га за годину). Найвищу біологічну активність ґрунт має в період максимальних приростів кореневої системи і вегетативної маси рослин, якщо цьому сприяють вологість і температура ґрунту. Концентрація  $\text{CO}_2$  в ґрунтовому повітрі може дещо зростати. Різні сільськогосподарські культури мають різні вимоги до аерації ґрунту. Ці вимоги зменшуються в ряду: картопля → кукурудза → зернові → багаторічні трави.

Велике значення для рослин має тривалість періоду з несприятливою аерацією, тому для характеристики повітряного режиму ґрунту доцільно знати добову і сезонну (річну) динаміку складу ґрунтового повітря.

Добова динаміка визначається добовим ходом температури і атмосферного тиску, зміною швидкості фотосинтезу та іншими факторами.

Ці фактори впливають на інтенсивність дифузії, дихання коренів, мікробіологічну активність ґрунту. Добові коливання складу ґрунтового повітря охоплюють, як правило, лише верхню півметрову товщу ґрунту. Амплітуда цих змін для кисню і вуглекислого газу не перевищує 0,1-0,3%. Найбільш істотно протягом доби змінюється інтенсивність дихання ґрунту. Склад ґрунтового повітря може оновлюватися протягом доби на 10-15%.

Сезонна (річна) динаміка визначається річним ходом атмосферного тиску, температури, опадів, а також вегетаційними ритмами розвитку рослин, мікробіологічною активністю ґрунту. Максимальний вміст  $\text{O}_2$  (і мінімальний -  $\text{CO}_2$ ) спостерігається в літній період, а восени та взимку товща ґрунту звільняється від накопиченої вуглекислоти. За оптимальної вологості з підвищенням температури ґрунту вміст  $\text{CO}_2$  в ґрунтовому

повітрі зростає, а вміст  $O_2$  - знижується. За високих температур і при вологості близькій до ВСВ склад ґрунтового повітря наближається до атмосферного.

Для складу ґрунтового повітря характерна та чи інша вертикальна диференціація в профілі ґрунту. Для більшості ґрунтів звичайним є підвищення концентрації  $CO_2$  з глибиною (концентрація  $O_2$  відповідно знижується).

Зрошення, змінюючи термодинамічні умови у ґрунті, істотно змінює як вміст так і склад повітря. При дощуванні нормою 250-300 м/га відбуваються лише слабкі зміни в складі ґрунтового повітря, так що через 2-3 доби система знову підходить до стану динамічної рівноваги. Дощування на чорноземах більш високими нормами (500-600 м<sup>3</sup>/га) викликає істотні зміни в складі ґрунтового повітря, що треба враховувати особливо при вирощуванні овочів, дуже чутливих до аерації.

При окультуренні ґрунтів відбувається оптимізація їх повітряного режиму. Застосування органічних і мінеральних добрив, хімічна меліорація, зрошення та осушення - все це активізує біологічні процеси, підвищує інтенсивність дихання ґрунту.

Внесення органічних добрив в гідроморфні ґрунти необхідно поєднувати з покращенням їх повітряного режиму (кротовим дренажем). При глибокому заорюванні на глеевих безструктурних ґрунтах органіка в анаеробному середовищі трансформується з накопиченням відновлених речовин і виділенням газів ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$  та ін.), що токсично впливають на рослини. Тому треба зменшувати глибину заорювання, застосовувати хімічну меліорацію, безполицевий (глибокий плоскорізний) обробіток ґрунту, мінімалізацію системи обробітку, яка підвищує буферність ґрунту до ущільнення.

## ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Поняття про ґрунтове повітря.
2. Види ґрунтового повітря.
3. Відмінності у складі ґрунтового і атмосферного повітря
4. Повітряні властивості ґрунтів.
5. Аерація ґрунту та її залежність від властивостей ґрунту.
6. Поняття про повітряний режим ґрунту та заходи щодо його регулювання.

## РОЗДІЛ 7. ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

Температура ґрунту - важливий компонент його мікроклімату. Вона дуже впливає на різноманітні процеси, що відбуваються в ґрунті. Від неї залежить початок і кінець вегетаційного періоду, ріст і розвиток рослин, характер поширення у ґрунті корневих систем, мікробіологічна активність ґрунту і швидкість надходження води і елементів живлення до коренів. Інтенсивність транспірації і продуктивність рослин - все це зазнає значного впливу температури ґрунту. Фазові переходи в системі ґрунт - ґрунтовий розчин - повітря в ґрунті, процеси вивітрювання, розчинення солей і газів теж значною мірою залежать від температури ґрунту. В умовах жаркого клімату розтріскування ґрунту, поява специфічної структури теж зумовлені температурою, характером її коливань.

Можливість вирощування тих чи інших культур теж диктується тепловими властивостями ґрунту.

### Джерела тепла в ґрунті

Є кілька джерел надходження теплової енергії до ґрунту:

- промениста енергія сонця;
- атмосферна радіація;
- внутрішня теплова енергія Землі;
- енергія біохімічних процесів розкладу органічних решток;
- радіоактивний розпад.

Найбільше значення мають перші три джерела. Внесок двох останніх джерел дуже малий і не береться до уваги при балансових розрахунках. Внутрішня теплова енергія земної кулі може бути порядку  $10^{-4}$  Дж/см<sup>2</sup> хв., що теж являє собою незначну величину. Лише в районах активної вулканічної діяльності цей потік тепла з надр землі може бути значним.

Головним джерелом тепла в ґрунті є промениста енергія сонця. Кількість теплоти, що надходить від Сонця до верхньої межі атмосфери Землі в середньому складає 8,296 Дж/см<sup>2</sup> хв. Внаслідок часткового

розсіювання цієї теплоти в атмосфері, до поверхні ґрунту її надходить менше. Крім того, кількість теплоти, що надходить у ґрунт, дуже залежить від географічної широти, пори року, стану атмосфери, експозиції схилу, кута падіння сонячних променів на поверхню, характеру рослинного покриву.

У помірних (середніх) широтах кількість сонячної радіації, що потрапляє на горизонтальну поверхню в полудень, становить 0,8-1,5 кал/см<sup>2</sup>хв. Температурний стан ґрунту дуже залежить як від характеру його поверхні, так і від теплових властивостей самого ґрунту.

### **Теплові властивості ґрунту**

Сукупність властивостей ґрунту, що обумовлюють його здатність поглинати і проводити через себе теплову енергію, називається **теповими властивостями ґрунту**.

До теплових властивостей ґрунту належать:

- тепловбирна здатність;
- теплоємність;
- теплопровідність.

**Тепловбирна (теповідбивальна) здатність ґрунту** - це його здатність поглинати (або відбивати) деяку частину сонячної радіації, що падає на її поверхню. Цей показник характеризується величиною альbedo (*A*) - часткою короткохвильової сонячної радіації, яка відбивається поверхнею ґрунту (*Q<sub>від</sub>*), вираженою в процентах від загальної сонячної радіації (*Q<sub>заг</sub>*):

$$A = \frac{Q_{\text{від}}}{Q_{\text{заг}}} \cdot 100$$

Альbedo залежить від ряду властивостей ґрунту: кольору, кількості і якості органічної речовини, механічного складу, структурності, вологості та стану поверхні. Діапазон відбиття променистої енергії поверхнею коливається в межах 8-40% (табл. 25).



Як видно з таблиці, темні багаті на гумус ґрунти вбирають більше сонячної радіації, ніж світлі; альbedo дуже залежить від характеру рослинного вкриття. Оструктурені ґрунти з шорсткою поверхнею більш теплі, ніж безструктурні.

**Теплоємність ґрунту**, або його здатність поглинати теплову енергію ( $C$ ) виражається через приріст теплоти ( $Q$ ) в ґрунті при зміні його температури ( $T$ ):

$$C = Q / T$$

Фізичний смисл теплоємності виражається в кількості теплоти, необхідного для нагрівання одиниці маси (1 г) чи об'єму (1 см<sup>3</sup>) ґрунту на 1°C. У відповідності з цим розрізняють три види теплоємності

- питому;
- об'ємну;
- ефективну.

*Питома теплоємність ґрунту* ( $C$ ) виражає кількість теплоти, необхідну для нагрівання одиниці маси (1 г) абсолютно сухого ґрунту на 1°C в інтервалі температур від 14,5 до 15,5°C.

*Об'ємна теплоємність* ( $C_v$ ) дорівнює кількості теплоти, необхідної для нагрівання одиниці об'єму (1 см<sup>3</sup>) сухого ґрунту на 1°C в тому ж інтервалі температур.

Та теплоємність ґрунту, що характеризує сумарну кількість теплоти, що витрачається на зміну температури одиниці маси ґрунту і фазові перетворення (випаровування води, конденсацію її пари, кристалізацію та танення льоду, сорбцію та десорбцію газів) називається *ефективною теплоємністю*.

Теплоємність ґрунту залежить від мінералогічного складу, вмісту органічної речовини, вологості, пористості, аерації та інших характеристик (табл. 26).

Таблиця 25.

## Альbedo різних поверхонь (за А.П.Чудновським, 1959)

Об'єкт дослідження		А, %
Чорнозем:	сухий	14
	вологий	8
Сірозем:	сухий	25-30
	вологий	10-12
Глина:	суха	23
	волога	16
Пісок вогкий		9-18
Пшениця:	яра	10-25
	озима	16-23
Трави:	зелені	26
	висохлі	19
Бавовник		20-22
Рис		12
Картопля		19

Таблиця 26.

## Теплоємність складових частин ґрунту і окремих мінералів

Об'єкт	Теплоємність	
	питома, кал/г	об'ємна, кал/м <sup>2</sup>
Пісок кварцевий	0,196	0,517
Глина	0,233	0,577
Торф	0,477	0,611
Вода	1,000	1,000
Кварц	0,198	-
Каолін	0,233	-

В природних умовах теплоємність ґрунтів (ефективна) дуже залежить від вологості, оскільки вода має вищу теплоємність порівняно із мінеральними і органічними компонентами ґрунту. Щоб нагріти вологий ґрунт на 1°С потрібно більше теплоти, ніж для сухого ґрунту. Ще в тридцяті роки П.І.Андріанов запропонував формулу залежності теплоємності від вологості ґрунту:

$$C = 0,2x + 0,7y + (W - y),$$

де  $x$  - вміст мінеральної частини у ґрунті, у частках одиниці,  $y$  - вміст міцно зв'язаної води, у частках одиниці,  $W$  - вологість ґрунту, у частках одиниці.

Вологі ґрунти повільніше прогріваються і повільніше охолоджуються ніж сухі. Механічний склад ґрунту теж дуже впливає на його теплові властивості. Глинисті ґрунти у вологому стані весною повільніше прогріваються, ніж піщані. Але восени вони повільніше охолоджуються, стають більш теплими, ніж піщані.

При зрошенні завжди доцільно враховувати відповідне зниження температури ґрунту (і суми біологічно-активних температур) при вирощуванні тих чи інших культур. Але зрошення зменшує альbedo і підвищує теплотасвоєння ґрунту.

ґрунти, багаті на органіку, більш теплоємні і холодні, ніж мінеральні. Добре оструктурені ґрунти з високою пористістю аерації холодніші за безструктурні, змиті.

### **Механізми переносу теплової енергії в ґрунті**

В основному існує три основних механізми енергопереносу: випромінювання, конвекція та теплопровідність. Всі тіла з температурою понад  $0^\circ\text{K}$  випромінюють енергію у формі електромагнітних хвиль за законом Стефана-Больцмана:

$$Q = a\epsilon \cdot T^4,$$

де  $a$  - константа;  $\epsilon$  - коефіцієнт емісії, що дорівнює одиниці для ідеального випромінювача (абсолютного чорного тіла);  $T$  - абсолютна температура поверхні тіла.

Абсолютна температура також визначає розподіл випромінюваної енергії за довжиною хвилі. За законом Віна, довжина хвилі випромінювання максимальної інтенсивності - обернено пропорційна до абсолютної температури:

$$\lambda_m = 2900/T,$$

де  $\lambda_m$  виражено в мікронах.

Оскільки температура поверхні ґрунту перебуває в межах від нижче 273 до вище 330°К, радіація, що випромінюється ґрунтом, має довжину хвилі в межах від 3 до 50 мікрон. Це область інфрачервоного або теплового випромінювання. Інший спектр випромінюється сонцем при температурі близько 6000°К. Сонячна радіація включає область світла (0,3-0,7 мікрона), частину інфрачервоного (до 3 мікрон) і частину ультрафіолетового випромінювання (< 0,3 мікрона). Отже, випромінювання Сонця - короткохвильове, а земної поверхні - довгохвильове.

Механізм теплопереносу, що називається конвекцією, пов'язаний з рухом мас рідини чи газу ( океанічні течії, вітри). Прикладом цього механізму є інфільтрація теплої води в холодний ґрунт.

Теплота, що надходить на поверхню ґрунту, під дією градієнта температур (нижчі шари більш холодні) розподіляється у профілі ґрунту з тією чи іншою швидкістю.

Процеси переносу тепла в ґрунті називаються теплообміном, а здатність самого ґрунту проводити тепло (з тією чи іншою швидкістю) називається **теплопровідністю**.

Теплообмін залежить від теплопровідності, як видно з рівняння термодифузії:

$$dQ = - \lambda_m dt/dz \cdot S dt,$$

де  $Q$  - потік теплоти, Дж, через площу поверхні  $S$ , см<sup>2</sup>;  $t$  - час, с;  $T$  - температура різних шарів ґрунту, град;  $z$  - глибина шарів ґрунту, см;  $\lambda_m$  - коефіцієнт теплопровідності, Дж/смсград. Знак мінус означає, що перенос теплоти відбувається в бік зниження температури.

Так як теплопровідність складових частин ґрунту коливається в широких межах, коефіцієнт  $X$  - дуже динамічна величина. Нижче подається його значення в Дж/см/с/град(табл.27).

**Теплопровідність складових частин ґрунту**

Складова частина ґрунту	Теплопровідність , Дж/см/с/град
Повітря	0,000210
Торф	0,001107
Вода	0,005866
Лід	0,020950
Кварц	0,00984
Базальт	0,02132
Граніт	0,03362

Теплопровідність повітря в 30 разів менша, ніж теплопровідність води. В середньому теплопровідність мінеральної частини в 100 разів вища, ніж повітря. Щільні ґрунти мають вищу теплопровідність, ніж пухкі, добре оструктурені. Тому вони швидше втрачають тепло. Чим вологіший ґрунт, тим вища його теплопровідність. При накопиченні вологи в ґрунті восени запаси тепла з нього витрачаються повільно, що оберігає посіви озимих культур від ранніх заморозків.

Мірою акумуляції тепла ґрунтом є теплосвоюваність ґрунту ( $\beta$ ), яка розраховується за формулою А.П.Чудновського:

$$\beta = \sqrt{Cv-\lambda}$$

**Тепловий режим та баланс**

Основним показником теплового режиму ґрунту є його температура. У зв'язку з добовою та річною циклічністю надходження сонячної радіації на поверхню ґрунту, для кожного ґрунту характерними є добовий та річний ходи температури.

**Добовий хід температури.** Максимальна температура поверхні ґрунту спостерігається близько 13 год, а мінімальна - перед сходом сонця. Вдень поверхня ґрунту нагрівається, його температура з глибиною зменшується.

Вночі поверхня ґрунту охолоджується найбільше, а з глибиною охолодження зменшується. Найбільша амплітуда коливань температури характерна для шару 3-5 см, а на глибині 35-100 см добові коливання повністю припиняються. Максимум і мінімум добових температур на кожні 10 см глибини «запізнюються» на 2-3 години.

**В річному ході температури** ґрунту виділяють два періоди: літній з потоком тепла від верхніх горизонтів до нижніх та зимовий з потоком тепла від нижніх до верхніх горизонтів.

Замерзання ґрунту відбувається при температурі дещо нижчій від 0°C, оскільки в ґрунтового розчині завжди є розчинні речовини:

$$\Delta t_{зам} = KC,$$

де К - криоскопічна стала, а С - моляльна концентрація розчину.

Для характеристики температурного режиму (теплозабезпеченості) ґрунтів беруть суму активних температур (>10°C) в ґрунті на глибині 20 см, де розміщена основна маса коренів рослин. В.Н.Дімо запропонував таку класифікацію теплозабезпеченості (табл.28).

Таблиця 28.

### Теплозабезпеченість ґрунтів

Теплозабезпеченість	Оцінка
<400	низька
400-800	дуже слабка
800-1200	слабка
1200-1600	нижче середньої
1600-2100	середня
2100-2700	вище середньої
2700-3400	добра
3400-4400	дуже добра
4400-5600	висока
> 5600	дуже висока

Співвідношення надходження і витрати сонячної радіації називається *радіаційним балансом* ( $T\bar{b}$ ). Прихідна частина балансу складається з прямої та розсіяної короткохвильової сонячної радіації ( $Q_p$ ), а також довгохвильового випромінювання атмосфери ( $Q_d$ ). Витратна частина балансу - це відбита поверхнею короткохвильова радіація ( $Q_{vid}$ ) та довгохвильове температурне випромінювання підстиляючої поверхні ( $Q_{vin}$ ). Рівняння радіаційного балансу має вигляд:

$$T\bar{b} = Q_p + Q_d - Q_{vid} - Q_{vin}$$

Він може бути як позитивним, так і негативним. Він визначає переважне нагрівання чи охолодження поверхні ґрунту. Для нього характерна як добова, так і річна періодичність. Сонячна радіація, досягаючи поверхні ґрунту перетворюється в теплову енергію. Тепловий баланс складається із таких статей: показника радіаційного балансу ( $T\bar{b}$ ); витрат тепла на трансформацію та випаровування, що можуть досягати 70-80% радіаційного балансу ( $Tm$ ); затрат тепла на теплообмін між поверхнею ґрунту і глибшими шарами ( $Tn$ ); кількості тепла, що витрачається на нагрівання повітря ( $Tk$ ).

Згідно з законом збереження енергії, тепловий баланс виражається рівнянням:

$$T\bar{b} + Tm + Tn + Tk = 0$$

**Типи теплового режиму ґрунтів.** В.Н.Дімо (1972) виділяє 4 типи теплового режиму: 1) мерзлотний, 2) тривало сезонно-промерзаючий, 3) сезонно-промерзаючий та 4) непромерзаючий.

Для першого характерна мінусова середньорічна температура, а промерзання товщі ґрунту відбувається аж до шару постійної мерзлоти; для (2) характерне переважання плюсової середньорічної температури, але ґрунт промерзає не менше, ніж на 5 місяців; для (3) - сезонне промерзання ґрунту триває не довше 5 місяців, а підстиляючі породи - не мерзлі; (4) характерна відсутність промерзання профілю ґрунту.

Ґрунти України умовно поділяються на ґрунти високої, середньої та низької теплоємності. До першої групи належать середньогумусовані чорноземи важко суглинкового та глинистого гранулометричного складу (холодні ґрунти). Ґрунти низької теплопровідності (піщані, супіщані) називаються теплими ґрунтами. Але слід пам'ятати, що так звані холодні ґрунти мають вищу тепло засвоюваність, ніж теплі, бо коефіцієнт тепло засвоюваності за А.П. Чудновським дорівнює середньому геометричному показникові двох величин – теплопровідності та об'ємної теплоємності

$$(\beta = V\lambda \cdot c_v).$$

На переважаючій частині території України, тепловий режим складається сприятливо для росту і розвитку рослин. Ґрунти не потребують спеціальних теплових меліорацій. Лише на піщаних, торф'яних та лучних ґрунтах інколи вдаються до заходів покращення теплових властивостей ґрунтів та мікрокліматичних умов вирощування рослин.

С.І. Веремєєнко (1997) зазначає, що ґрунти Полісся відносять до сезонно-промерзаючих з тривалістю мерзлого періоду менше 5 місяців. Найвищі теплові ресурси (2500 - 3500 °) мають легкі дерново-підзолисті ґрунти, найнижчі (2400 ° і менше) – торфові та болотні неосушені ґрунти. Глибина промерзання коливається від 10 – 20 см в неосушених торфово-болотних до 50 – 100 см в дерново-підзолистих піщаних ґрунтах.

Регулювання теплового і світлового режимів ґрунту повинно орієнтуватися на поліпшення умов життя культурних рослин. Воно в залежності від умов зони може бути спрямовано на збільшення потоку тепла і світла до поверхні ґрунту (північні райони) або на зменшення такого (південні райони).

Прийоми активного впливу на тепловий режим ґрунту можна розділити за характером дії на: агротехнічні, агро меліоративних і агрометеорологічні.



До групи *агротехнічних* прийомів відносяться наступні; способи обробки ґрунту: глибоке розпушування, прикочування, гребнювання, залишення стерні, мульчування.

*Агромеліоративні* прийоми включають лісонасадження, боротьбу з посухою, зрошення, осушення.

*Агрометеорологічні* прийоми спрямовані на зниження випромінювання тепла з ґрунту, боротьбу із заморозками і т. д.

Глибина обробітку ґрунту суттєво впливає на її тепловий режим. При глибокій оранці створюється різка неоднорідність ґрунту по глибині: змінюються щільність і вологість, загальна пористість і пористість аерації. Все це впливає на зміну теплопровідності і теплоємності. Прикочуванням ґрунту можна викликати підвищення її середньодобової температури на 3 - 5 ° С в 10-сантиметровому шарі, залягає нижче ущільненої прошарку. Це пояснюється більш високою теплопровідністю ущільненого шару.

Температуру ґрунту можна змінити мульчуванням поверхні. Мульчують покриття міняє відбивний і випромінювальний елементи радіаційного балансу, тобто альbedo і константи випромінювання поверхні ґрунту. Чорна мульча зменшує альbedo ґрунту на 10-15%. Біла мульча може служити засобом зниження надлишкового нагрівання ґрунту. Застосування в якості мульчирующего покриття прозорих плівок призводить до більш інтенсивного нагрівання ґрунту, ніж використання темних плівок. Це відбувається тому, що прозорі плівки пропускають видиму частину сонячного спектра і інфрачервону радіацію до поверхні ґрунту і зменшують витрату тепла.

Ґрунт швидше і більше на прогрівається при застосуванні в умовах достатнього та надлишкового зволоження гребневих та грядкових посівів. Для кращого прогрівання гребенів їх формують із сходу на захід. На поліпшення температурного режиму за таких умов позитивно впливає комплекс заходів по осушуванню ґрунтів.

Застосування великих доз органічних добрив викликає підвищення температури ґрунту. Створення гребенястих поверхні сприяє кращому прогріванню ґрунту, забезпечує велику акумуляцію розсіяної радіації. Температура ґрунту на гребенястих поверхні більш висока. Це особливо важливо для північних областей, так як на гребені протягом дня температура ґрунту вище на 3-5 ° С, ніж на вирівняних ділянках.

Теплові характеристики ґрунтів легкого гранулометричного складу покращуються під впливом органічних добрив, сидератів, внесення мінерального мулу; торф'яних – під впливом добавок мінерального ґрунту (глинування, піскування); важких глинистих ґрунтів – при піскуванні, мульчуванні, внесенні деревної тирси (подрібнених галузок) та регулярному внесенні матеріалів, що містять кальцій.

Лісові смуги надають комплексну дію на тепловий і водний режими ґрунтів. Вони сприяють накопиченню снігу на полях і скорочують стік талих вод, безпосередньо впливаючи на температуру ґрунту. Лісові насадження змінюють мікроклімат місцевості, знижують швидкість вітру в межполосном просторі в порівнянні з відкритою місцевістю на 20 - 40%. Полезахисне лісонасадження поліпшує тепловий режим ґрунту тим, що сприяє нагромадженню снігу і рівномірнішому розподілу його на полях, послаблює взимку дію холодних вітрів, а влітку - гарячих та суховіїв.

Зрошення знижує відбиту радіацію на 20%. Після поливу також зменшується випромінювана радіація. Все це збільшує прихід теплової енергії до ґрунту. Зрошення збільшує теплопровідність ґрунту, що сприяє більш рівномірному її прогріванню і зменшенню температурних коливань.

Доступним для виробництва заходом щодо регулювання теплового режиму ґрунту є снігозатримання. Добра перезимівля озимих культур спостерігається за умов неглибокого промерзання ґрунту і при температурі не нижче - 10 ÷ 12°C і не вище - 5°C. Краща потужність снігового покриву від 20 см в південних районах до 70 см у північних. Внаслідок снігозатримання сніг рівномірно нагромаджується і розподіляється по

полю. Прискорюючи танення снігу шляхом затемнення або уповільнюючи його ущільненням, регулюють його температурний режим і забезпечують нагромадження води в ґрунті.

До заходів, що максимально знижують пагубну дію низьких температур на стан посівів належать також добра заправка ґрунту органічними добривами, мульчування ґрунту, гребеневі технології, утеплювальні посіви, туманний полив, влаштування димових завіс, тощо.

Агротехнічні та меліоративні заходи підвищують температуру ґрунту на  $0,5 - 4,0^{\circ}\text{C}$ , суми температур зростають на  $50 - 300^{\circ}\text{C}$ . Обігрів – найефективніший спосіб регулювання температурного режиму, підвищує температуру ґрунту на  $5,5 - 6,0^{\circ}\text{C}$ , а суму температур – на  $548 - 785^{\circ}\text{C}$ .

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Джерела тепла у ґрунті.
2. Теплопоглинальна властивість ґрунту
3. Теплоємність ґрунту.
4. Теплопровідність ґрунту.
5. Поняття про тепловий режим ґрунту.
6. Типи теплового режиму
7. Регулювання теплового режиму ґрунтів.

## **РОЗДІЛ 8. ОРГАНІЗАЦІЙНІ, ТЕХНОЛОГІЧНІ, ТЕХНІЧНІ І ВИХОВНІ АСПЕКТИ БЕЗДЕГРАДАЦІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

### **8.1. Загальні принципи**

Загальні принципи побудови системи подолання деградації встановлюються досить просто, тому що вони засновані на використанні добре відомих прийомів. Потрібно «усього лише» не допустити дегуміфікації і переущільнення і погіршення структурності ґрунтів. Якщо параметри цих властивостей перебувають у ґрунті в сприятливому інтервалі значень, то основна спрямованість землеробських технологій повинна складатися в застосуванні профілактичних засобів з метою їхнього збереження. У міру погіршення властивостей ґрунтів, що розорюються, насиченість поліпшувальними прийомами повинна зростати. І, нарешті, якщо ґрунт необоротно погіршений (відповідні критерії відомі), ґрунт варто вивести із сільськогосподарського використання. Зрозуміло, це лише загальна схема, у яку необхідно вносити уточнення залежно від реального стану властивостей, генетичних, кліматичних, орографічних, літологічних і багатьох інших особливостей ґрунтового покриву, а також від спрямованості і інтенсивності його господарського використання.

Якщо ґрунт суглинкового гранулометричного складу має рівноважну щільність будови в орному шарі не вище  $1,3 \text{ г/см}^3$ , а вміст агрономічно корисних агрегатів 60% за їх водостійкості не менше 50%, не утворює брили після оранки і не має плужної підшви з параметрами твердості більше  $20\text{-}25 \text{ кгс/см}^2$ , такий ґрунт можна визнати висококультурним. Головна мета тут - не допустити його погіршення всіма можливими способами - агротехнічними, організаційними, іншими. Якщо в такому ґрунті, до того ж, утримується не менше 4,5-5,0% гумусу, а ємність насичення обмінними катіонами кальцію й магнію не менше 80-85%, він здатний підтримувати сприятливі властивості невиразно довго. Землеробство на такому ґрунті повинно бути організоване так, щоб не порушити цієї його здатності. Останнє досягається за рахунок створення

бездефіцитного балансу гумусу, мінімізації механічного впливу і дотримання правил висококультурного господарювання. В останні десятиліття зміст останнього поступово міняється - обов'язкова раніше щорічна основна глибока оранка поступається місцем різноманітним поверхневим і навіть нульовій технологіям. Найважливішими принципами нульового обробітку є повна відмова від обробітку взагалі і цілорічне збереження надґрунтового рослинного покриву. Це означає заборону спалювання стерні, розміщення на поверхні ґрунту мульчі, сівбу так званих покривних культур. У такій системі небажані не тільки оранка, але й дискування, і культивація. Сіяти потрібно спеціальними знаряддями, які не руйнують рослинний покрив. Мінеральні добрива і засоби захисту потрібно вносити одночасно із сівбою в поверхневі шари ґрунту. Органічні добрива майже не вносяться. І до того ж вони і не потрібні, тому що за умови, коли всі рослинні залишки основних і пожнивних культур залишаються на полі, досягається навіть позитивний баланс органічного вуглецю і, що важливо відзначити, ощадливіше, з меншими витратами, чим коли залишки використовуються для потреб тваринництва й повертаються на поле вже як гній. До речі, не витримує критики і аргумент про солому як джерело кормів для тварин і необхідність із цієї причини її вилучення з поля. Солома в країнах з розвиненим сільським господарством давно вже не розглядається, як цінний корм в умовах високотехнологічного тваринництва.

Важливо відзначити, що підтримка постійного рослинного покриву або мульчі поступово вивільнює ґрунт від бур'янистих рослин, формує своєрідний кругообіг поживних елементів подібно лісовій або степовій екосистем. Значне посилення біологічних і екологічних чинників сприяє росту біорізноманіття і взагалі стійкості агроландшафтів і землеробства, тобто, гармонії між продуктивними і екологічними функціями ґрунтів. Саме нульова технологія, упевнені, є ідеальним прийомом збереження властивостей ґрунтів у сприятливому інтервалі значень, а якщо необхідно,

то й подолання деградації.

Таким чином, деградація успішно долається при застосуванні наступних заходів, перелік яких визначається, головним чином, залежно від вихідних (рівноважних) параметрів структури й щільності будови ґрунтів:

- мінімізації механічного впливу на ґрунт аж до повної відмови від обробітки взагалі (зрозуміло, там, де для цього є відповідні передумови);

- дотримання прийомів високої культури землеробства, мета яких повинна складатися в підтримці бездефіцитного балансу органічної речовини, біофільних елементів і збереженні агрономічно корисної структури.

Далі ми докладніше розглянемо перелік заходів, частина з яких, повторюємо, добре відома, частина також відома, але за різних причин не знаходить застосування у виробництві. Нарешті, розглянемо деякі нові заходи, що відкривають, як здається, принципово інші підходи до управління властивостями ґрунтів.

## **8.2. Зменшення розораності**

Проблема скорочення ріллі й трансформація її частини в пасовища або під заліснення в Україні відома давно. Дискусію викликає лише площа, на яку необхідно скоротити рілля. Існує кілька рекомендацій із цього приводу. В.Ф. Сайко й ін. (2000), опираючись на площі орних еродованих і засолених земель у межах водоохоронних зон і малопродуктивних земель, визначили, що ця площа повинна дорівнювати 8629,4 тис. га. У Л.Я. Новаковського й ін. (2000), які опиралися на результати великомасштабного обстеження ґрунтового покриву 1957-1961 рр. (а це були, головним чином, морфологічні, хімічні й фізико-хімічні дослідження), ця площа склала 5133,7 тис. га. Ще раніше в нашій роботі, виконаної разом із С.Ю. Булигіним (1992) установлена більш значна площа ріллі, що вимагає скорочення – близько 10 млн га. Якби таке скорочення відбулося, співвідношення ріллі й інших угідь, які стабілізують

ландшафт (лісу, пасовища, косовиці й т.п.) в Україні відповідало б аналогічному співвідношенню в сусідніх країнах Європи. Для цього потрібно припинити розорювати ландшафти, розташовані на ухилах більше 2°. Характерно, що між площею ріллі на ухилах 0-2° й еродованістю ріллі знайдений майже функціональний зворотний зв'язок. Тобто, якщо не розорювати ухили більше 2°, можна усунути головну передумову розвитку ерозії. Зрозуміло, що 10 млн га виглядає як дуже віддалена перспектива. Тому на першому етапі була запропонована площа скорочення ріллі в 5530 тис. га.

Тепер у нас є можливість уточнити наведені рекомендації, використавши згадану базу даних лабораторії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», що включає фізичні, деякі фізико-механічні й технологічні параметри майже 2000 ґрунтових розрізів із всіх природних зон і провінцій країни (Т.М. Лактіонова й ін., 2012).

Для визначення несприятливих фізичних, фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунтів використані такі дані:

- уміст піщаної фракції гранскладу ( $> 0,25$  мм) – більше 35 % (позначимо цей фактор кодом 1);
- уміст фракції фізичної глини ( $< 0,01$  мм) – більше 75 % (2);
- уміст мулу ( $< 0,001$  мм) – більше 40 % (3);
- фактор дисперсності Н.А. Качиньського – більше 25 (4);
- уміст брил (структурна фракція розміром більше 10,0 мм) після основного плужного обробітку – більше 70 % (5);
- уміст агрономічно корисної фракції розміром 10-0,25 мм – менше 40 % (6);
- уміст пилу за структурного аналізу (менше 0,25 мм) – більше 20 % (7);
- питомий опір ґрунту за основного обробітку – більше 0,60 кгс/см<sup>2</sup> (8);
- вологість ґрунту в орному шарі під час основного обробітку –  $< 0,7$

$i > 1,2$  найменшої вологоємності (9);

- середньозважений ухил земель – більше  $3,0^\circ$  (10);
- рівноважна щільність будови орного шару –  $> 1,55 \text{ г/см}^3$  (11).

Перераховані критерії несприятливого стану ґрунтів були отримані нами (В.В. Медведєв, 2002; В.В. Медведєв і ін., 2004, 2006, 2007) на підставі робіт Н.А. Качинського, С.І. Долгова, П.У. Бахтіна, И.В. Кузнецової, Є.В. Шеїна, С.Ю. Булигіна, власних досліджень. Використані також офіційні матеріали Дежземагенства й довідники Державної гідрометеорологічної служби України.

Витягнуті зі згаданої бази даних і інших джерел відповідні параметри були занесені в кожний контур дигіталізованої ґрунтової карти України масштабу 1:1500000. Далі, за допомогою програмного забезпечення MapInfo здійснені картографування й підраховані площі з несприятливими властивостями ґрунтів щодо більшості з поіменованих критеріїв

Індивідуальні карти були синтезовані в інтегральну за допомогою розрахунку геометричного середнього, що дозволило в інтегральній оцінці адекватно відбити всі несприятливі властивості ґрунтів без маскування навіть мало значущими факторами. Геометричне середнє підраховано при використанні певних кодів, які одержали властивості ґрунтів залежно від їхніх значень. Далі розраховували узагальнену оцінку площ ґрунтів з несприятливими властивостями в адміністративних областях, що рекомендується погодити з картографо-аналітичними матеріалами, які є на місцях, і використовувати у відповідних програмах консервації деградованих і малопродуктивних ґрунтів, які повинні бути в кожній області.

Опираючись на вибрані критерії і їхні просторові характеристики була підтверджена надзвичайно висока строкатість ґрунтового покриття України й значна поширеність ґрунтів ріллі з несприятливими властивостями. Такі ґрунти є в кожній природній зоні, провінції або



адміністративній області. Наприклад, у Поліссі через надзвичайно легкий грансклад, оглеєння, неглибоке залягання переущільнених ілювіальних горизонтів і наявність численних перезвожених знижень на полях загальна площа ґрунтів, що має потребу в консервації, досягає 53 %. У сухому Степу, головним чином, через надважкий грансклад, посушливість, що граничить із опустелюванням, і високу загрозу дефляції – 36 %. Лише в Лісостепу й посушливий (північний) Степ - відповідно 3 і 9 %.

Нами не враховані сильно кислі або сильно лужні ґрунти, середньо- і сильно еродовані, перезвожені ґрунти або ґрунти з досить вираженим оглеєнням. Нагадаємо, що ці несприятливі характеристики були враховані в цитованих роботах, виконаних під керівництвом В.Ф. Сайко й Л.Я. Новаковського. Також не враховані інші несприятливі властивості ґрунтів, такі як підтоплення, зсуви, карст, інші геоекоаномальні явища, урахувати які виявилось неможливим через відсутність моніторингу цих явищ.

Площі ґрунтів з несприятливими властивостями демонструються в табл. 29.

Внаслідок високої варіабельності вмісту в ґрунтах країни, головним чином, гранулометричних елементів і гумусу, також дуже варіабельні площі з несприятливими властивостями ґрунтів. Найбільші площі ґрунтів з високим питомим опором при плужній обробці. Таких ґрунтів 22,6 млн га. Якщо опиратися на цей критерій, то скорочувати площу ріллі потрібно було б на 75 %. Зрозуміло: це робити не слід, але потрібно мати на увазі, що здійснення традиційного плужного обробітку на ґрунтах країни – це дуже енерговитратна операція й, там, де є ґрунти з гарними або навіть задовільними водно-фізичними й хімічними властивостями, а сільськогосподарські культури не дають значного зниження врожаю при проведенні поверхневих обробітків, від основного плужного обробітку з метою збереження ґрунтів варто відмовлятися.

Таблиця 29.

**Площі ґрунтів на ріллі України з несприятливими фізичними, фізико-механічними й технологічними властивостями**

Критерії відповідно номеру коду	Площі ґрунтів з несприятливими властивостями	
	% від загальної площі ріллі (30 млн.га)	млн. га
1	0,5	0,2
2	13-17*	4-5*
3	14,8	4,4
4	0, 6-0,9*	2-3*
5	0, 30-0,45*	1, 0-1,5*
6	0,8	0,24
7	8,8	2,64
8	75	22,6
9	10*	3*
10	12,4	3,71
11	7,2	2,16

\* мають потребу в угочненні

Досить виражені інші несприятливі властивості. Наприклад, рівноважна щільність будови майже на 2,16 млн га неприпустимо перевищує вимоги навіть мало вимогливих до цього показника рослин. Така ж ситуація з погрозою розпилення ґрунтів і ризиком виникнення дефляції, обробітком пересушених або перезволожених немеліорованих ґрунтів, якість якого в цих умовах надзвичайно низька, а перевитрата ресурсів, навпаки, надзвичайно велика.

Зовсім незрозумілий той факт, що, незважаючи на численні застереження науковців, в Україні продовжують розорювати схили більше 3,0° і навіть більше 5,0°. Припинити це неподобство (інше слово підібрати важко) потрібно було б уже давно.

Інтегрування площ ґрунтів з несприятливими фізичними, фізико-механічними й технологічними властивостями за пропонованою методикою (з використанням геометричного середнього) дозволило встановити необхідну площу, що склала 6770 тис. га. Як бачимо, вона близька до площ ґрунтів, які мають потребу в консервації, установлених іншими авторами й використанні інших критеріїв. Тому вважаємо факт надмірної площі під ріллею в Україні коректно й вичерпно доведеним.

Її скорочення повинне, нарешті, стати необхідним заходом. Адже очевидно: використання ріллі з несприятливими властивостями ґрунтів економічно неефективно й створює погрозу подальшого погіршення ґрунтів внаслідок незбалансованості сучасного землеробства. За даними Г.В. Добровольського й ін. (2000), 30 % (а краще 40 %) території потрібно підтримувати в непорушеному природному стані. Приблизно такий же відсоток земель можна розорювати й тільки тоді агроландшафт має бути захищений від ерозії (А.А. Світличний і ін., 2004). За іншими даними, між екологостабільними вгіддями (ліс, пасовище, косовиця, водойма) і вгіддями, які дестабілізують ландшафт (ріллею), повинне бути співвідношення, щонайменше, 1:1 (Guidelines, 1983) і в більшості країн світу, за винятком Угорщини, України, окремих штатів США й деяких країн південно-східної Азії, воно відповідає цим рекомендаціям ФАО.

Установлені нами ґрунти з несприятливими фізичними, фізико-механічними й технологічними показниками мають загальну ознаку, пов'язану з ослабленим потенціалом утворення агрономічно корисної структури, або відсутністю структури взагалі. Тобто, у таких ґрунтах відзначається явна нестача водостійких, пористих, механічно міцних агрегатів. Через цетакі ґрунти мають негативні режими – водний, повітряний, тепловий і поживний. Головна причина недоліків – надмірна кількість у ґрунтах піщаних або мулистих часток.

Піщані й супіщані ґрунти можна назвати пасивними в реологічному відношенні, тому що перехід з текучого у твердий стан здійснюється в них дуже швидко й у досить вузьких границях пластичності, майже не проявляється липкість, низька деформація (через вихідну високу рівноважну щільність будови). Ці ґрунти в силу збагачення піщаною фракцією сприяють абразії (зношуванню) робочих органів ґрунтообробних машин, а при швидкому наростанні температур навесні схильні утворювати кірку. Підвищена кількість атмосферних опадів у Поліссі, де такі ґрунти переважають у ґрунтовому покриві, наявність у рельєфі

знижень і ілювіальних горизонтів, які залягають неглибоко й збагачені тонкодисперсними компонентами, викликають явища поверхневого оглеєння, що не сприяє якісному обробітку таких ґрунтів. Короткий період релаксації, прискорене відновлення вихідних несприятливих показників щільності будови (через відсутність водостійкої структури) обумовлює необхідність частого розпушування й збагачення поживними речовинами цих бідних ґрунтів. Наявність неглибоких ілювіальних горизонтів обмежує глибину обробітку й вимагає застосування додаткових заходів з окультуренню ґрунтів, якщо глибину обробітку потрібно збільшити.

Ґрунти, збагачені мулом, – найбільш важкі в землеробському аспекті. Головні проблеми, які створює такий ґрансклад, – висока міцність у сухому стані й липкість – у вологому, тобто, підвищена реологічна активність, невелика тривалість періоду, коли ґрунт перебуває в м'якопластичному (спілому) стані. Недостатня зволоженість (а цих ґрунтів найбільше в Степу) і підвищена небезпека прояву дефляції підсилює їхні негативні характеристики.

Використовуючи ту ж методику й базу даних, ми розрахували площу ґрунтів з недостатнім потенціалом формування структури (або його відсутністю взагалі), тобто, ґрунтів з несприятливими властивостями, які обмежують ефективне функціонування орних ґрунтів. Сумарна площа таких ґрунтів виявилася рівної 5990 тис га (В.В. Медведєв і ін., 2007). Тобто, використовуючи інший підхід, ми знову одержали майже таку ж площу ґрунтів з несприятливими властивостями. Думаємо, що збіг площ не випадковий. Видимо, які б підходи не використовували, властивості ґрунтів (у тому числі несприятливі) визначаються одними й тими фундаментальними характеристиками, а саме: ґранскладом, уммістом органічної речовини, складом обмінних катіонів, реакцією ґрунтового розчину й т.п.

Зважаючи на те, що рішення про скорочення ріллі має бути прийняте на рівні області, приведемо дані про такі площі в кожній області (табл. 30).

**Площі ґрунтів з несприятливими фізичними, фізико-механічними й технологічними властивостями в областях України**

<b>Адміністративне утворення</b>	<b>Орієнтовні площі ґрунтів з несприятливими властивостями в областях України (% до загальної площі ріллі в області)</b>	<b>Несприятливі властивості ґрунтів, що домінують в області</b>
АР Крим	24	2-5, 9
Вінницька	1	10
Волинська	46	1, 4, 6
Дніпровська	1	8
Донецька	4	2
Житомирська	55	1, 6, 9, 11
Закарпатська	100	3-5, 8, 9
Запорізька	8	2, 7-9
Івано-Франківська	76	1, 9, 10
Київська	6	1, 4, 6
Кропивницька	0	-
Луганська	24	1, 4, 8, 9
Львівська	63	1, 4, 6, 9, 10
Миколаївська	2	2, 5
Одеська	8	10
Полтавська	32	6, 10
Рівненська	52	1, 4-6, 9, 11
Сумська	10	1, 4
Тернопільська	0	-
Харківська	5	2, 5, 8
Херсонська	3	1, 9
Хмельницька	4	10
Черкаська	0	-
Чернігівська	17	1, 4-6
Чернівецька	14	5, 8-10

Надзвичайно висока строкатість площ ґрунтів з несприятливими властивостями по областях – від 0 до 100 % – має потребу в коментарі. По-перше, у нашій роботі використана дигіталізована ґрунтова карта країни масштабу 1:1500000, яку не можна використовувати для роботи з окремими областями. Тому наведені в таблиці дані умовні, фактично експертні, які потрібно уточнити, використовуючи обласні карти масштабу

1:200000, а краще більш детальні. Але, більш-менш упевнено можна стверджувати, що в областях, де відсоток ґрунтів у ріллі з несприятливими властивостями перевищує 20-30, скорочувати площу ріллі потрібно обов'язково, не відкладаючи цю справу на майбутнє. Від цього ефективність господарювання тільки зросте, тому що надмірна розораність не сприяє позитивним економічним результатам і взагалі не потрібна. Стереотип поклоніння ріллі потрібно перебороти.

Ґрунти, перебуваючи в умовах перелогу (тимчасово) або залісення, стануть тільки краще. Більше того, загроза деградації для ґрунтів ріллі істотно зменшиться. Виведення частини земель із ріллі – одна з небагатьох можливостей розширити природні ландшафти, а не консервувати вже деградовані непридатні до використання землі. Мають потребу в освоєнні принципово нові підходи до землеустрою територій – насичення їх екологічностабільними компонентами (залісення, створення захисних зон, штучних водойм, так званих «плям» або «коридорів екологічної безпеки» і природними кормовими вгіддями). Стійкість території від цього значно зросте й відповідно покращаться умови функціонування агросфери. Тоді замість хаотичного землекористування, що існує зараз, буде уведено більш гармонічне з урахуванням вимог охорони земель. Важливу частину в інфраструктурі природних і культурних ландшафтів повинна зайняти зона відновлення природних (у минулому орних) ландшафтів.

Потрібно виправити помилку, допущену під час проведення земельної реформи, коли роздержавлення земель і їхня приватизація відбулися в зафіксованих до цього границях категорій земельних угідь. Зменшення площі ріллі не відбулося навіть в очевидних випадках (коли приватизували деградовані й малопродуктивні землі). Тепер було б доцільно прийняти Постанову Уряду про консервацію деградованих і малопродуктивних земель, визначивши (із залученням фахівців обласних центрів охорони родючості й землепорядних установ) уточнені обсяги й строки виконання робіт.

Таким чином, для обґрунтування площ ріллі, що вимагають скорочення, доцільно застосувати два критерії для оцінювання несприятливих властивостей ґрунтів. Фактично це сумарна площа деградованих і малопродуктивних земель, використання яких у ріллі економічно нераціонально й екологічно небезпечно. Перший – фізичні, фізико-механічні й технологічні параметри; другий – нездатність або недостатня здатність ґрунтів утворювати агрономічно корисну структуру. Площі орних ґрунтів з несприятливими властивостями відповідно склали 6770 і 5900 тис. га, що близько до площ, визначених раніше іншими авторами за допомогою інших критеріїв – 8629, 4 тис. га (В.Ф. Сайко й ін.), 5133,7 тис. га (Л.Я. Новаковський і ін.), В.В. Медведєв і ін. (5530 тис. га).

Визначено орієнтовні площі ґрунтів з несприятливими властивостями в кожній адміністративній області, які потрібно уточнити на базі детальних картографічних матеріалів і включити в плани робіт з консервації земель.

З огляду на економічну недоцільність розорювати ґрунти з несприятливими параметрами й необхідність оздоровлення навколишнього середовища пропонується прийняти Постанову Уряду про консервацію деградованих і малопродуктивних земель.

### **8.3. Нормування механічного навантаження**

Незважаючи на те, що з 2007 р. в Україні діє стандарт, що обмежує навантаження на ґрунт, у країні продовжують використовувати машинно-тракторні агрегати з неприпустимим питомим тиском. Загроза переущільнення існує на 75 % ріллі України (В.В. Медведєв і ін., 2007). Причиною широкого розвитку цих негативних процесів, крім МТА, є також численні ґрунтові фактори, зокрема, переважно суглинковий грансклад, низька вихідна (перед обробіткою) щільність будови й вологість навесні, близька до фізичної спілості. Через велике число роздільних технологічних операцій, виконуваних енергонасиченими тракторами й важкими комбайнами, переущільнення нерідко проявляється навіть на

легких, погано сприйнятливих до ущільнення ґрунтах. Є дані (Переущільнення ..., 1987), що продемонстрували переущільнення на глибині 1 м, де воно акумулюється й може зберігатися досить тривалий час. Зафіксоване також нове явище – консолідація, коли ущільненню піддаються агрегати агрономічно корисного розміру. При цьому з них видавлюється продуктивна волога, різко зменшується внутріагрегатна пористість і тим самим погіршується агрономічна цінність ґрунту як середовища перебування коріння рослин.

Факторний аналіз причин, що викликають переущільнення ґрунтів, перевагу віддав конструктивним особливостям ходових систем, кількості проходів МТА по полю (В.В. Медведєв і ін., 2004). Тому для подолання переущільнення надто важливо вдосконалити МТА й технологію виконання механізованих польових робіт. Така стратегія поступово стає популярною в північних європейських країнах, США й Канаді, де все частіше можна побачити на полях МТА зі здвоєними й навіть строєними пневматичними шинами низького тиску. Важливо відзначити, що в країнах з розвинутою землеробською спеціалізацією активно обговорюються або вже уведені приблизно такі ж, як і в Україні, нормативи припустимого питомого тиску на ґрунт (I. Hakansson et al., 1995; I. Hakansson, 2005; F.G.J. Tijink et al., 2001; H.J. Durr et al., 1995). Більше того, усе популярніше стає маршрутизація й ретельний контроль руху МТА по полях при сівбі, внесенні добрив, засобів захисту й збиранні врожаю, що переслідує мету мінімізації площі ущільнення полів (W.T. Dumas et al., 1972). Україна, хоча й ініціювала (одна з перших) прийняття нормативу припустимого питомого тиску на ґрунт, продовжує застосовувати багатоопераційні роздільно виконувані обробітки за допомогою переважно енергонасичених МТА. Те й друге потребує більш активної модернізації. Такі технічні засоби й технології поступово повинні йти в минуле внаслідок їх очевидного деградаційного впливу на ґрунт.

Уведення обмеження на механічне навантаження МТА є зовсім



очевидним, тому що багато несприятливих наслідків дії ходових систем і ґрунтообробних знарядь на ґрунт здобули широке поширення. Хоча цей аспект взаємодії МТА із ґрунтом уже давно відомий, тільки в 80-і роки минулого сторіччя вперше розпочаті роботи в цьому напрямку. Були проведені різнобічні дослідження процесу ущільнення й розущільнення різних ґрунтів після навантаження й його зняття. Вивчали дію МТА на ґрунт у статичних і динамічних умовах, на моделях і в полі, під дією практично всіх мобільних агрегатів, що використовуються при вирощуванні сільськогосподарських культур. У результаті були обґрунтовані вимоги до питомого тиску МТА, які в узагальненому виді можна сформулювати так:

- при проведенні основного обробітку ґрунту, збиранні врожаю й інших польових робіт (транспортних, із внесення добрив або засобів захисту рослин), коли використовуються машини з найбільшою масою, переущільнення не повинне проникати глибше орного шару, де процеси розущільнення вповільнені або не відбуваються зовсім і тим самим створюються умови для акумуляції переущільнення в активній частині кореневмісного шару. Недотримання цієї агровимоги може привести до зменшення потужності кореневмісного шару, погіршення водного живлення рослин, особливо в умовах посухи, і зростання ризику недоодержання врожаю;

- при проведенні будь-яких польових робіт ущільнення орного або посівного шарів повинне бути таким, щоб до початку сівби культури його рівень установився в межах припустимого для культури, що висівається. Це значить, що помірне ущільнення ґрунту припустиме, але воно не повинне порушувати (перевищувати) здатність ґрунту до саморозущільнення. Наприклад, добре відомо, що чорнозем середнього гранскладу, ущільнений до  $1,30-1,35 \text{ г/см}^3$ , здатний розущільнитися до рівноважної щільності, рівної приблизно  $1,15 \text{ г/см}^3$ , досить швидко, усього після декількох циклів зволоження й висушування. У той же час той же

чорнозем, ущільнений до 1,40-1,45 г/см<sup>3</sup>, не розущільнюється протягом декількох років. І зрозуміло, чому. Адже в переущільнені ґрунти не проникає волога, коріння, у них мало активні біологічні процеси, тобто, всі ті агенти, які сприяють об'ємним змінам і розущільненню, у таких умовах стають не ефективними;

- при проведенні будь-яких польових робіт не повинне відбуватися грубого руйнування (зминання, здрібнювання) структурних агрегатів, після якого їхнє відновлення утруднене й навіть, якщо й відбувається, то супроводжується зниженням внутріагрегатної пористості. У результаті різко погіршується агрономічна цінність ґрунту як середовища для рослин, тому що саме в цих порах звичайно здійснюється водно-мінеральне живлення їхніх кореневих систем. Такі процеси звичайно спостерігаються за обробітку перезволоженого ґрунту, при буксуванні ходових систем і навіть при обробітку підсушеного ґрунту, коли використовуються особливо важкі машинно-тракторні агрегати або шини з ґрунтозачіпами, у місцях контакту яких із ґрунтом виникають виражені деформаційні явища;

- звичайно обробіток переущільненого ґрунту супроводжується підвищеним виходом агрономічно шкідливих брил і додатковими енергетичними витратами. Ясно, що одержувати низькоякісну рілля в результаті обробітку не можна. Виходить, так само не можна допускати, щоб оброблявся переущільнений ґрунт.

Виявляється, що всі перераховані агровимоги виконуються, якщо питомий тиск машинно-тракторного агрегату під час обробітку не буде перевищувати якоїсь припустимої величини, за якої у ґрунті після проведення механічної операції буде зберігатися достатня кількість повітря, не буде порушуватися його здатність до кришення, сприйняттю вологи атмосферних опадів (без утворення стоку й ерозії), здатність до саморозущільнення, не будуть, нарешті, істотно рости витрати на наступний обробіток. Звичайно, ця якась припустима величина залежить, насамперед, від властивостей самого ґрунту, її гумусованості, гранскладу,

якісного складу тонкодисперсної частини. Ми, провівши серію модельних досліджень, а також узагальнивши літературні дані, одержали шукані величини припустимого ущільнення (В.В. Медведєв і ін., 2004).

Виявилося, що у важко- і середньосуглинкових ґрунтах, за вмісту гумусу 4, 5-5,5 % величини припустимого ущільнення перебувають в інтервалі 1,15-1,25 г/см<sup>3</sup>. Такі параметри характерні для типових, звичайних і опідзолених чорноземів, а також лучно-чорноземних ґрунтів. Ці ґрунти особливо сприйнятливі до переущільнення й тому використання МТА на них повинне здійснюватися з особливою обережністю.

Якщо вміст гумусу знижується до 3,5-4,5 % (темно-сірі, сірі, темно-каштанові й каштанові ґрунти), параметри припустимої щільності перебувають у межах 1,29-1,42 г/см<sup>3</sup>.

У ясно-сірих і дерново-підзолистих ґрунтах легкосуглинкового гранулометричного складу, за вмісту гумусу в оброблюваному шарі 2,5-3,5 % величина припустимого ущільнення підвищується до 1,47-1,52 г/см<sup>3</sup>.

Нарешті, у супіщаному й глинисто-піщаному дерново-підзолистому ґрунтах шуканий параметр щільності найбільш високий – 1,58-1,71 г/см<sup>3</sup>.

Відповідно до названих параметрів припустимого ущільнення знайдені (з використанням залежності між питомим тиском МТА й величиною ущільнення) величини питомого тиску – від найбільш до найменш високих. Вони і є припустимими параметрами питомого тиску на ґрунт, які й склали основу відповідного стандарту (табл. 31).

Таблиця 31.

**Норми припустимого максимального тиску ходових систем на ґрунти ріллі середнього й важкого гранскладу залежно від параметрів щільності будови й вологості ґрунтів під час проходу**

Вологість ґрунту в шарі 0-30 см, у частках від найменшої вологості	Припустимий максимальний тиск на ґрунт ходових систем, кПа, не більш ніж			
	навесні		улітку, восени	
	за пухкої будови шару 0-10 см, (<0,9 г/см <sup>3</sup> )	за помірно ущільненої будови шару 0-10 см (0,9-1,0 г/см <sup>3</sup> )	за помірно ущільненої будови шару 0-10 см (1,1-1,2 г/см <sup>3</sup> )	за рівноважної щільності в шарі 0-10 см (1,2-1,3 г/см <sup>3</sup> )
>0,9	40	50	60	80
0,7-0,9	50	60	80	100
0,6-0,7	60	100	120	140
0,5-0,6	80	120	140	180
0,4-0,5	120	160	180	210

Аналізуючи здобуті норми, варто звернути увагу на неприпустимість використання ходових систем з питомим тиском, що перевищує зазначені в таблиці величини, особливо навесні за пухкого й помірно ущільненої будови оброблюваного шару, а також у всіх випадках з вологістю ґрунту, рівної або, тим більше, що перевищує фізичну сплість. У деяких випадках тиск на ґрунт повинний бути ще нижче. Так, на необроблених ґрунтах із травостоем і вологістю більш ніж 0,9 НВ тиск ходових систем на ґрунт повинний бути у весняний період від 20 до 40 кПа. У літньо-осінній період – від 40 до 60 кПа. Під час обробітку просапних культур, наприклад, цукрового буряка, тиск не повинний перевищувати 60 кПа в одному міжрядді. У цих випадках дотримувати норми найбільш складно технологічно, якщо врахувати, що більшість наявних вітчизняних мобільних засобів мають більш високий питомий тиск.

Цей стандарт, що прийнятий у СРСР за участі українських учених, став першою у світі спробою обмежити механічний тиск на ґрунт (В.А. Русанов і ін., 1986). Стандарт переглянутий і прийнятий в Україні (В.Г. Євтенко й ін., 2007). Як було встановлено в дослідженнях розроблювачів стандарту, розущільнення ґрунту після досягнення ґрунтом

певного рівня ущільнення відбувається досить повільно, підвищена щільність стабілізується на багато років (В.В. Медведєв і ін., 1987). Стандарт усуває можливість ушкодження структурної зв'язності й внутріагрегатної пористості, завдяки чому ґрунт не втрачає здатності до відтворення агрономічно корисної структури. Адже волога може проникати в такий агрегат і за рахунок об'ємних змін при висушуванні або розмерзанні (а також розвитку корінь і мікробіологічної діяльності) відновлювати модальні параметри структури й щільності.

Найбільш жорсткі умови стандарту припадають на найцінніші в агрономічному відношенні ґрунти – чорноземи типові. Ці ґрунти характеризуються найкращою агрегованістю й тому їхня щільність перед обробіткою, як правило, мінімальна. Через це вони здатні до переущільнення в більшій мірі, чим інші ґрунти. Думаємо, що інженери-механіки з розумінням сприймуть нові агровимоги і їх цілком аргументований жорсткий рівень, і прикладуть максимум зусиль до розробки відповідних конструкторських і технологічних рішень, які реально усунуть небезпеку переущільнення найцінніших об'єктів.

До речі, у Німеччині, Нідерландах і Швеції існують або обговорюються аналогічні параметри припустимого питомого тиску (Н. Durr et al., 1995; R. Horn et al., 2000; F.G.J. Tjink et al., 2001; I. Nakansson, 2005). У цих країнах, а також у Канаді й північних штатах США звичайно прибігають до здвоювання й навіть до строювання коліс або до використання пневматичних широких шин низького тиску. У такому випадку виконується навіть найбільш жорстка вимога стандарту. За нашими даними, щільність посівного шару чорнозему типового важкосуглинкового гранскладу після одного й чотирьох проходів трактора ХТЗ-120, обладнаного подвійними шинами Дніпровського заводу «Дніпрошина», не перевищила  $1,25 \text{ г/см}^3$ , тобто, була в межах припустимих параметрів. Глибше по профілю ґрунту показники щільності на контрольних і тестових ділянках були рівними.

Але стандарт лімітує лише вертикальне середнє навантаження, а інші види деформації, які виникають при русі МТА, регулювати не передбачає. Зокрема, при буксуванні, при дії ґрунтозачіпів шин комбайнів, за обробітку перезволожених ґрунтів виникають деформації, після яких ґрунт тривалий час не може відновитися. Адаже максимальний тиск, що утворює колісна техніка внаслідок нерівномірного його розподілу по опорних поверхнях, досягає 500 і вище кПа. Ще вище – до 800-1000 кПа – контактний тиск, що утворюється на лемеші плуга й інших робочих органів, що працюють за принципом плоского клина (А.С. Кушнар'ов, 1987). Саме внаслідок такого тиску формується плужна підшва й виникають дуже щільні грудочки ґрунту.

На жаль, незважаючи на виняткову важливість стандарту як ґрунтозахисного заходу, він поки не став повноцінним стримувальним фактором. Адаже його дія фактично поширюється лише на МТА, які тільки проектуються, у той час як сьогодні й ще багато років на полях буде працювати велика кількість механізмів, питомий тиск яких на ґрунт перевищує стандарт. Саме тому вкрай необхідні додаткові зусилля щодо обмеження впливу МТА на ґрунт.

Наприклад, дуже бажано регламентувати рівень сумарного навантаження на ґрунт МТА в процесі вирощування сільськогосподарських культур. Не можна допускати безконтрольного використання МТА. Якщо відстань, що проходить техніка за рік, помножити на загальну масу машин, використовуваних на цих операціях, то можна одержати досить інформативний показник інтенсивності впливу ходових система МТА на ґрунт. Його можна виразити в ткм/га в рік і дати йому таку орієнтовну оцінку:

- <50 – слабкий вплив
- 50-100 – припустимий вплив
- 100-150 – умовно припустимий вплив
- 150-200 – неприпустимий вплив
- >200 – зовсім неприпустимий вплив

Аналіз сучасних технологій показує, що тільки зернові культури (за умови, що на весняних роботах використовуються легкі й середні трактори) вирощуються із прийнятною площею ущільнення поля. У всіх інших випадках неминучі порушення, які залишають свій «слід» на властивостях ґрунтів і врожаї.

Для мінімізації площі ущільнення поля при вирощуванні польових культур і виборі відповідної техніки канд. техн. наук П.І.Слободюк за нашим проханням розробив відповідну номограму, побудові якого передували наступні аналітичні дослідження.

Площа ущільнення поля залежить від ширини колії, утвореної ходовою системою трактора, ширини захвата агрегату й числа його проходів по полю, що визначається як :

$$n = AK / P_{kp},$$

де n- число проходів агрегату; А – ширина поля, м; К– питомий опір сільськогосподарських машин, кН/м;  $P_{kp}$  – тягове зусилля трактора на гаку, кН.

Площа ущільнення поверхні за один прохід агрегату без урахування ущільнення ґрунту ходовими системами сільськогосподарських машин і при холостому ході на поворотних смугах обчислюється за формулою:

$$S_0 = 2b(L_0 - 2E),$$

а на всій площі поля:

$$S = S_0 n = \frac{2bAK(L_0 - 2E)}{P_{kp}}$$

де S– площа ущільнення поля за один прохід агрегату, м<sup>2</sup>;

$S_0$  – площа ущільнення всього поля, м<sup>2</sup>;  $L_0$  – довжина поля, м;

n - ширина рушія трактора, м; b- ширина поворотної смуги, м.

Площа ущільнення поля ходовою частиною трактора при виконанні однієї операції визначається як:

$$S = \frac{2bL_0 A^2 K (L_0 - 2E)}{[(L_0 - 2E)A + (A + B)l]P_{kp}}$$

де  $L_0$ —довжина одного повороту, м;  $B$  – ширина захвата агрегату, м.

На поворотних смугах (п.п.) ґрунт ущільнюється при поворотах агрегату на неодруженому (х.х.) і робітників (р.х.) ходах. Площа ущільнення поворотної смуги становить:

$$S_{п.п.} = S_{х.х.} + S_{р.х.} = \left(\frac{A}{B} - 1\right) 2bl + \frac{2bEA}{B}$$

Тоді загальну площу ущільнення поля при виконанні однієї операції можна обчислити по формулі:

$$S_{общ} = \frac{(2bL_0 A^2 K(L_0 + 2E))}{[(L_0 - 2E)A + (A + B)l]P_{кр}} + \left(\frac{A}{B} - 1\right) 2bl + \frac{2bEA}{B}$$

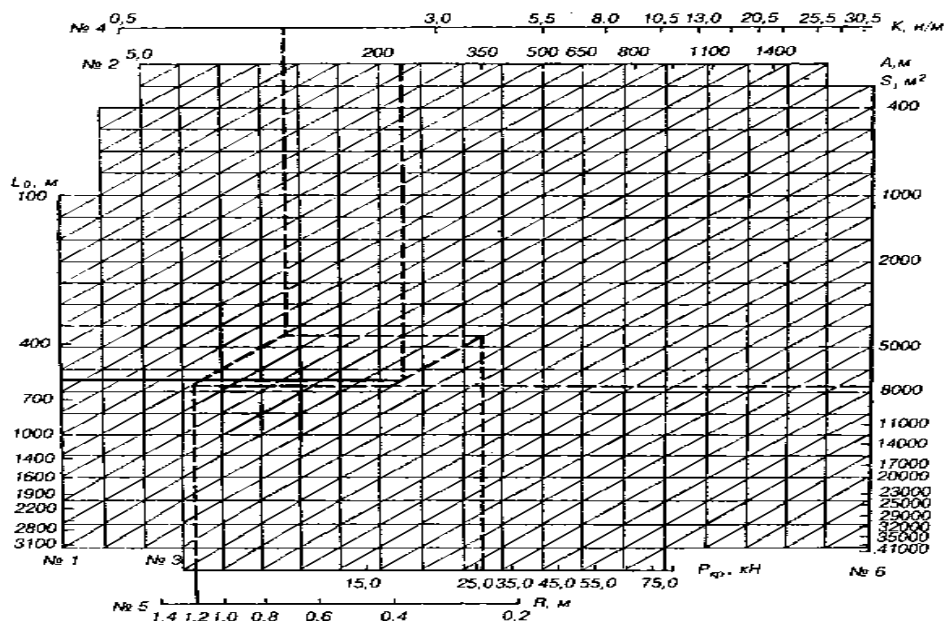
Таким чином, знаючи розміри поля й поворотної смуги, параметри ходової частини трактора, тягове зусилля й питомий опір сільськогосподарських машин, що залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, можна визначити площу ущільнення поля при виконанні однієї або декількох технологічних операцій.

Для прискорення обчислень побудована логарифмічна номограма з 45-градусним ходом проміну рішення. Межі значень всіх шкал дозволяють знайти шукану величину для будь-яких значень, що зустрічаються на практиці, зазначених вище змінних (рис.8.3.1). Вихідними даними для визначення площі ущільнення поля є його довжина  $L$  і ширина  $A$ , тягове зусилля трактора  $P_{кр}$ , ширина ходової частини рушія  $b$  і питомий опір сільськогосподарських машин  $K$ . На практиці визначення величини тягового зусилля трактора пов'язане із значними труднощами й тому для розрахунку площі ущільнення його зручно виразити через ширину захвата агрегату:  $L = BK$ , де  $B$  – ширина захвата агрегату, м.

Для знаходження величини питомого опору сільськогосподарських машин можна скористатися відповідною довідковою літературою. Відхилення останнього від реальних умов буде компенсуватися значенням тягового зусилля трактора, що й дає можливість одержання об'єктивних



даних площі ущільнення поля його рушіями. Нарисунку показаний приклад знаходження шуканої величини при відомих параметрах  $L_0$ ,  $A$ ,  $P_{кр}$ ,  $b$  і  $K$ .



**Рис. 8.3.1. Номограма для розрахунку площі ущільнення поля (автор кандидат технічних наук П.І. Слободюк)**

Головний же висновок – вплив ходових систем МТА на ґрунт приводить до істотних втрат у врожаї. Навіть відносно ліберальна методика обліку втрат сільськогосподарської продукції від переущільнення ґрунтів, що ми використовували (В.В. Медведєв і ін., 2002), показала 159,6 млн ам. доларів втрат у середньому щорічно в Україні, а в окремі роки цілком може досягти й 0,5 млрд. ам. доларів. З такими втратами, упевнені, повинні рахуватися всі, насамперед товаровиробники. Уже хоча б із цієї причини, не говорячи про вплив на властивості ґрунтів, повинен бути поставлене питання про обмеження впливу ходових систем МТА на ґрунт.

#### 8.4. Мінімізація технологій обробітку

Раніше нами були продемонстровані значні можливості мінімізації основного, передпосівного й міжрядного способів обробітку на чорноземних ґрунтах Лісостепу й Степу (В.В. Медведєв і ін., 2007). Цей висновок був зроблений на підставі фундаментального узагальнення, виконаного В.П. Гордієнко й ін., (1998). Зрозуміло, використані й власні дослідження.

У цій книзі узагальнені величезний досвід і зроблені всі необхідні висновки. Ми ризикнемо додати лише деякі судження, важливі в контексті нашої книги:

- можливості мінімізації основного обробітку поліпшуються в умовах високої природної родючості ґрунтів, при збагаченні орного шарупоживними елементами й в умовах посушливого клімату. Саме ці причини приводять до того, що різниця у врожаях багатьох культур після оранки й мінімального (поверхневого) обробітку практично відсутня, а в деяких випадках навіть відзначається перевага мілкої обробітку;

- певні обмеження для мінімізації обробітку виникають у Поліссі, де рівень родючості низький, а також у всіх зонах при зростанні засміченості полів і захворюваності рослин, що супроводжує поверхневий обробіток;

- окремі культури (цукровий буряк, кукурудза, горох) стабільно краще відгукуються на глибокий обробіток.

Виходячи із цього, варто визнати цілком обґрунтованою рекомендацію в Україні в цей час віддати перевагу комбінованій технології основного обробітку, що сполучає різні способи зрушуванням, головним чином, вимог культур і кліматичних умов.

Разом з тим, у міру росту культури землеробства й можливостей неагротехнічних способів регулювання чисельності бур'янистих рослин, шкідників і хвороб мінімальні способи основного обробітку можуть бути істотно розширені.

Можливості мінімалізації обробітку, визначаються фізичними властивостями ґрунтів і засміченістю поля. Чим краще фізичні властивості ґрунтів і менше бур'янів, тим менше потрібно операцій для підготовки якісного посівного шару. При сприятливому структурному складі й помірному ущільненні відпадає необхідність у додатковому кришенні, необхідність активізувати мікробіологічну діяльність. У деяких роботах, що згадуються В.П. Гордієнко й ін. (1998), і виконаних у степових і лісостепових умовах, було показано, що при сприятливих фізичних властивостях можна навіть відмовитися від традиційного боронування - «закриття вологи» і скоротити число культивацій, обмежившись однією передпосівною культивацією. Недоцільне боронування також на глинисто-піщаних ґрунтах Полісся, розташованих на підвищених елементах рельєфу. Але це, повторюємо, при сприятливих фізичних властивостях ґрунтів.

Навпроти, при неякісному структурному складі поверхневого шару, його невіривняності, переущільненні й засміченості число весняних обробіток зростає. Тут обробітки потрібні для зменшення брилистості й гребенистості. Адже невіривняна поверхня більше випаровує вологи, а її наступна обробітка, як правило, неякісна.

Особливо важлива ретельна передпосівна підготовка посівного шару для мілконасінневих культур.

Наприклад, для того щоб підготувати якісний посівний шар для сівби цукрового буряка, потрібно здійснити наступні операції: боронування (якщо поверхня тверда, то в 2 сліди й з додатковими пристосуваннями для руйнування великих грудок), шлейфування, потім кілька передпосівних культивацій і знову боронування. Якщо випав дощ і утворилася кірка, знову потрібно боронувати ґрунт. Потім сівба із внесенням добрив і прикочування. Після появи сходів знову потрібне боронування, потім не менше трьох міжрядних розпушувань. У результаті тільки для того, щоб здійснити передпосівні обробітки, сівбу і післясходові обробітки, для

цукрового буряка необхіднабуквальновеличезна кількість операцій. Втім, це потребує не тільки до цукровий буряк, але практично всі просапні і взагалі ярі культури пізньої сівби. Звичайно, ця проблема добре відома й уже порівняно давно було запропоновано її вирішити за рахунок застосування комбінованих ґрунтообробних машин.

В останні десятиліття у виробництві з'явилося кілька таких машин, які дозволяють у передпосівному циклі обробок істотно скоротити число проходів МТА за рахунок об'єднання культивуації з вирівнюванням поля, сівби із внесенням добрив і гербіцидів, післяпосівним прикочуванням поверхні. Також є кілька типів комбінованих машин, що дозволяють поєднувати передпосівні операції, сівбу і прикочування. Це ґрунтообробні посівні агрегати КА-3,6, КФС-3,6, а також стерньові сівалки СЗС. Однак функціональні можливості існуючих типів комбінованих машин обмежені. Вони дозволяють сполучити тільки так звані сумісні операції, і тому багато механічних операцій як були, так і залишилися роздільними, одноопераційними. Комбіновані машини, як правило, не мають активних робочих органів і тому не можуть регулювати структурний склад посівного шару безпосередньо в шарі, куди зароблюється насіння культур. Їхня дія обмежується тільки верхнім посівним шаром. Вони не можуть, наприклад, розуцільнити піднасінневий шар, що у результаті численних культивуацій і інших обробітківіноді до моменту проростання насіння стає переуцільненим. Крім того, машини погано пристосовані до роботи в складних ґрунтово-технологічних умовах і тому їхня надійність залишає бажати кращого. Нарешті, комбінованих машин просто мало.

На відміну від основного обробіткмінімалізація передпосівного обробітку не викликає жвавих дискусій. У її необхідності переконані, здається, і дослідники, і виробничники, але її широке освоєння стримується нестачею ефективних машин і об'єктивними труднощами якісного виконання передпосівних операцій через строкатість ґрунтово-технологічних умов. Навесні, залежно від рівня зволоження й умов

перезимівлі, верхній шар ґрунту може перебувати у будь-якому стані— від твердого, зцементованого, що важко піддається боронуванню, до пухкого, що практично не вимагає обробітку й готового до сівби. Звичайно занедостатнього або надлишкового зволоження підготувати якісний посівний шар за допомогою боронування неможливо. У посушливих умовах неминучі брили, у перезволожених—залипання знярядь. Тому прибігають не до мінімалізації, а, навпроти, число операцій збільшують, у процесі яких посівний шар поліпшується, а піднасіньвий ущільнюється, що, звичайно ж, небажано.

Далі, залежно від погоди весна може бути холодною й затяжною або швидкоплинною, знастанням буквально протягом декількох днів літніх температур. У тім і іншому випадках посівний шар перетерплює значні зміни фізичного стану (і засміченості також) і його знову й знову доводиться обробляти.

У результаті весна стає надзвичайно напруженим періодом для хлібороба (фактично ґрунт потрібно безупинно обробляти) і важким випробуванням для самого ґрунту. Обробітків не просто багато, їхнє виконання розтягується в часі й звичайно, здійснюється часто при вологості, що відрізняється від вологості фізичної спілості.

У контексті нашої роботи сформована ситуація змушує зробити кілька висновків:

- численні обробітки навесні обумовлюють екологічно несприятливі наслідки й служать основною причиною фізичної деградації ґрунтів, тому що в цей період ґрунт характеризується мінімальними параметрами міцностних властивостей і позбавлений тим самим своєрідного захисного бар'єра проти значного антропогенного преса;

- численні обробітки навесні мають економічно несприятливі наслідки, тому що підвищують собівартість продукції й роблять її неконкурентною;

- численні обробітки навесні значно підвищують обсяги польових

механізованих робіт, підвищують зношування робочих органів, ускладнюють організацію виконання й контролю робіт і в результаті знижують їхню якість;

- численні обробітки навесні – анахронізм, що потрібно перебороти або, принаймні, істотно знизити їх зовсім очевидні негативні наслідки для ґрунту й економіки господарювання.

Хіба це не доказ необхідності модернізації технології передпосівного і післяпосівного обробітків, а також МТА, використовуваних для їхнього виконання? Вихід, здається, зовсім ясний – потрібні радикальні зміни технології на основі поєднання операцій, виконання їх за один-два проходів, що, потрібно думати, може бути здійснене шляхом розробки й виробництва нових зразків комбінованих ґрунтообробних і посівних машин.

В Україні досить поширені регіони, де цьому питанню потрібно приділити максимум уваги. Одні з них – це кращі чорноземні ґрунти, що мають знижену здатність протистояти навантаженню і потребують надзвичайно обережного обробітку навесні. Інші – це ґрунти, що мають різні недоліки й тому підготовка якісного посівного шару для них, як правило, супроводжується додатковими обробітками. У цьому випадку також потрібне ретельне агрегування машин за жорсткого контролю сумарного їхнього тиску на ґрунт. В обох випадках дуже важливе значення буде мати мінімізація технологій вирощування культур, що передбачає можливо більш широке застосування комбінованих машин із припустимим питомим тиском і ощадливим кришенням.

Не менш важливе питання про міжрядні розпушування просапних культур. Здається, прийшов час повернутися до його обговорення й з'ясувати, яким методам віддати перевагу в нових умовах – агротехнічним або хімічним. Авторів цієї книги довелось ознайомитися з технологією вирощування цукрових буряків у Німеччині. У ній всі технологічні операції були повністю механізовані, число проходів техніки в процесі

передпосівних операцій було мінімальним, ніяких післяпосівних операцій не було, не говорячи вже про застосування ручної праці. Єдиний мінус технології – допуск на поле великовантажних автомобілів під час збирання врожаю, що відзначив сам фермер. На кожному з 35 га було вирощено по 65 т продукції, а для того, щоб виробництво було рентабельним, йому потрібно було зібрати не менше 40-45 т буряка на кожному гектарі за нормативногвмісту цукру. До речі, фермер, не маючи спеціального агрономічної освіти, вирішив вирощувати буряк тільки тому, що технологія, запропонована йому, була віднесена за класифікацією до так званих «high tec» – високих технологій і гарантувала йому повернення банківського кредиту протягом одного року. Для того щоб виконати всі роботи, фермерові потрібно було орендувати МТА всього на 3 дні для виконання сівби й ще на 4 дні для збирання врожаю.

Із цього прикладу, сподіваємося, зрозуміло, які технології повинні бути в нас. Інакше, не може бути й мови про серйозну конкуренцію не тільки на світовому, але й на внутрішньому ринку. Але нас у даному прикладі ще більше цікавить екологічна сторона технології, що передбачає значне скорочення впливу на ґрунт, тому що всі важкі МТА, що застосовувалися в згаданому вище прикладі, мали здвоєні пневматичні шини низького тиску, а сумарна площа ущільнення поля була приблизно в 7-8 разів менше в порівнянні з вітчизняною технологією.

Значні можливості модернізації сучасних технологій вирощування культури закладені в організації виконання механізованих польових робіт, а саме в застосуванні маршрутизації руху всіх технічних засобів на полях відповідно до заздалегідь складеного плану. Нами ще в 80-і роки минулого сторіччя доведена корисність маршрутизації руху МТА для збереження структурного стану ґрунту, попередження переущільнення й підвищення врожайності культур, що була запозичена з північно-американського досвіду (W.T. Dumas et al., 1972; Soil studies, 1976; В.В. Медведєв і ін., 1984). Причина високої екологічної й економічної ефективності

маршрутизації – у зниженні сумарної площі ущільнення поля. При вирощуванні просапних культур вона зменшується майже вдвічі, культур суцільної сівби – утрое (це навіть без урахування уборочно-транспортних робіт). До того ж таке зниження було досягнуто за умови застосування окремих операцій без їхнього поєднання. Якщо ж були б використані комбіновані ґрунтообробні й посівні машини, площу ущільнення вдалося б знизити ще більше. Впровадження маршрутизації не створює особливих труднощів. Потрібно всього лише, щоб ширина захвата МТА, використовуваних для вирощування культури, була кратною базовій, у якості якої береться сівалка. Нами в цитованій роботі представлені необхідні рекомендації для впровадження цієї технології на прикладі вирощування цукрових буряків, кукурудзи й озимої пшениці. В.П. Гордієнко й ін. (1998) також приводять детальний опис комплектування агрегатів з метою маршрутизації руху МТА по полю. Але дотепер маршрутизація залишається невикористаним резервом поліпшення технологій вирощування польових культур головним чином через неузгодженість ширини захвата сівалки з ґрунтообробними знаряддями й машинами для внесення добрив і засобів захисту рослин.

Маршрутизація руху МТА необхідна на всій площі ріллі країни, але найбільш важлива вона на ґрунтах, особливо чутливих до ущільнення, тобто, знов-таки на найцінніших чорноземних ґрунтах, а також у перезволожених регіонах і на ґрунтах важкого грансостава.

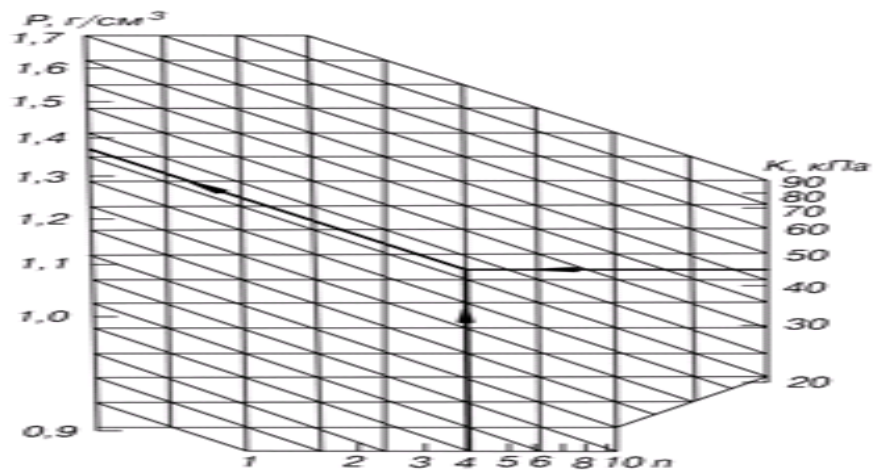
Щодо можливостей зменшення глибини основного обробітку. Теоретично добре відомо, що глибина обробітку залежить від вимог культури, попередника, кліматичних умов, рельєфу, засміченості поля, а також властивостей ґрунту. У реальних виробничих умовах спосіб і глибина обробітку звичайно визначаються особливостями вирощуваної культури й майже однакова на всіх ґрунтах, за винятком територій з особливо несприятливими властивостями (наприклад, для схилів, або за близького залягання ілювіального горизонту, коли глибина обробітку



зменшується). Опираючись на об'єктивні властивості ґрунтів можна зменшити глибину основного обробітку. Ми вважаємо цілком актуальним і обґрунтованим скорочення глибини основного обробітку, де ґрунтово-технологічні умови сприятливі. Звичайно це твердження може суперечити регіональним рекомендаціям, які базуються на результатах досліджень ефективності різної глибини обробітку під сільськогосподарські культури, які встановлювалися обласними дослідницькими станціями (В.П. Гордієнко й ін.,1998). Хоча ми не ставимо під сумнів результати цих дослідів, але не можемо не звернути уваги на те, що збільшення врожаю від поглиблення оранки в більшості випадків невелике, часто нестабільно в часі, дуже залежить від якості дотримання інших елементів технології й, головне, дуже рідко враховує екологічну ефективність, що з поглибленням і підвищенням інтенсивності обробітку аж ніяк не зростає.

Тому ми переконані, що домінуюча в Україні тенденція проведення основного глибокого обробітку не менш чим під половину культур 10-пільної сівозміни навіть на найкращих чорноземах типових не обґрунтована ні економічно, ні тим більше екологічно. Глибину обробітку необхідно скорочувати у всіх випадках, де для цього складаються сприятливі умови.

Вибір машинно-тракторних агрегатів для виконання операцій залежить від кінцевої величини щільності будови, визначити яку допоможе розроблена канд. техн. наук П.І. Слободюком номограма (рис. 8.4.1).



**Рис. 8.4.1. Номограма для визначення кінцевої величини щільності будови ґрунту залежно від питомого опору ґрунту й числа проходів МТА (Р – щільність будови, К – питомий опір ґрунту, n – число проходів МТА)**

Шукана щільність перебуває по формулі:

$$K=0,15 P_0 + 0,2 n 0,1 ,$$

де  $P_0$  – вихідне значення щільності будови ґрунтів.

Виведення формули викладено у роботі В.В. Медведєва й ін. (1987). Вона застосовна для оцінки кінцевого значення щільності суглинкових ґрунтів після проходів будь-яких тракторів, крім класу 3 і 5 т. У прикладі на номограмі показано, що кінцева щільність будови 1,37 г/см<sup>3</sup> чорноземи типового з питомим опором ґрунту 45 кПа вже досягається після 4-х проходів. Тому що критична щільність для такого ґрунту становить 1,25 г/см<sup>3</sup> (В.В. Медведєв і ін., 2004), то технологію, що передбачає більше 4-х проходів по одному сліду, потрібно визнати незадовільною.

### **8.5. Новітні ґрунтозахисні (антидеградаційні) технології**

Як можна було переконатися вище, проблема деградації в її найбільш популярних аспектах, пов'язаних з переущільненням ґрунтів і втратою структури, у світі досить широко досліджується й знаходить найрізноманітніші прикладні додатки. Причому, це вже не окремі агрозаходи, а технології й системи. Деякі з них явно орієнтовані на подолання деградації, інші – мають більш широке призначення, але

аналогічна мета в них також передбачається. Далі ми маємо намір систематизувати новітні ґрунтозахисні (антидеградаційні) технології, дати їм коротку характеристику (більше повна характеристика могла б скласти спеціальну монографію) і ще раз підкреслити, наскільки значний арсенал засобів, розроблених наукою й практикою для подолання деградації.

Збалансоване землеробство – принципово новий тип стійкого змлекористування, що забезпечує гармонічне співвідношення між антропогенним навантаженням і природним потенціалом ґрунту для відновлення й повноцінного продуктивного й екологічного функціонування.

Хоча збалансоване землеробство орієнтоване в першу чергу на створення спочатку простого, а потім розширеного відтворення родючості ґрунтів і поступове формування передумов для стійкого землеробства, попередження фізичної деградації й, зокрема, недопущення перевищення припустимих механічних навантажень, звичайно ж передбачається.

Адаптивно-ландшафтне землеробство – землеробство, яке можливо більш точно враховує типи ландшафтів і ґрунтово-кліматичні особливості території.

Хоча основи цього типу землеробства закладені ще В.В. Докучаєвим, повною мірою воно не освоєно дотепер, тому що сільськогосподарські культури, сівозміни, способи обробітку й інші елементи сучасних технологій нерідко використовуються в невластивих для них ґрунтово-кліматичних умовах і не відповідно до них. Однієї із причин фізичної деградації саме і є недотримання принципів адаптивно-ландшафтного землеробства.

Контурно - меліоративне землеробство – землеробство по контурах, а не по прямих лініях, коли границі полів, напрямки обробітків, типи сівозмін вибираються з урахуванням рельєфу місцевості.

Цей тип землеробства спрямований на зменшення головним чином кінетичної енергії води, переведення поверхневого твердого й рідкого

стоку у внутріґрунтовий, небезпеки ерозії як одного із проявів фізичної деградації. В Україні накопичений значний досвід обґрунтування й успішного впровадження контурно-меліоративного землеробства в Київській, Харківській, Донецькій і іншій областях.

Агролісове землеробство – організація землекористування, що забезпечує стійке (бездеградаційне) функціонування ріллі за рахунок оптимального співвідношення екологічно стійких (в основному лісів) і нестійких угідь.

Поширений в північних, збагачених лісовими вґіддями, країнах Європи й Америки. Якщо доповнюється змінами структури сільськогосподарських і несільськогосподарських угідь, мінімізації оранки, розвитком «зеленого» туризму, лісового промислу й рекреації, докорінно поліпшує привабливість місцевості (подібно Ірландії й Фінляндії, де невеликі розорювані ділянки «вкраплені» у пасовища й лісові масиви. Практично усуває всі види деградації ґрунтів. Можливе освоєння в поліській зоні України.

Консервативне землеробство – технології землекористування, спрямовані на максимально можливе збереження біорізноманіття, складу й властивостей ґрунтів, захист від деградаційних процесів (ерозії, втрат гумусу, переущільнення й ін.).

Є домінуючою системою в США, Канаді, західно- і центральноєвропейських країнах. Передбачає використання ґрунтозахисних сівозмін, мінімальних способів обробітку, інших агрозаходів, спрямованих на збереження навколишнього природного середовища, а також субсидії фермерам, що стимулюють її впровадження.

Точне землеробство – новий етап розвитку агросфери, пов'язаний з використанням геоінформаційних систем, глобального позиціонування, бортових комп'ютерів, управлінських і виконавчих механізмів, здатних диференціювати способи обробітку, норми внесення добрив, хімічних меліорантів і засобів захисту рослин залежно від неоднорідності поля.

Сприяє економії ресурсів і охороні ґрунтів. В останні роки точне землеробство знаходить усе більше широке застосування в країнах з розвинутою аграрною діяльністю. Є успішні приклади освоєння цієї технології й в Україні – у Чернігівській, Київській і іншій областях.

Підтримувальне землеробство – технології зі зменшеним застосуванням агрохімікатів – головним чином пестицидів, особливо при вирощуванні найпоширенішої культури – озимої пшениці.

Застосування знижених доз агрохімікатів стримує інтенсивність мікробіологічних процесів, мінералізацію гумусу й тим самим побічно гальмує прояву фізичної деградації ґрунтів. Поширено в країнах Північної Америки і Європи, що виробляють зерно.

Органічне землеробство – технологія вирощування культур в «екологічно чистих» умовах (без застосування агрохімікатів при компенсації дефіцитного балансу біогенних елементів за рахунок природних джерел). Технологія передбачає оптимальні рішення екологічних (у тому числі підтримки родючості ґрунтів), економічних і інших питань, включаючи переробку с.-г. продукції, її маркетинг і ціноутворення. Займає приблизно 10 % оброблюваних площ у Данії, Швейцарії, Великобританії й інших західноєвропейських країнах.

Удосконалені технології обробітку ґрунтів (еволюція способів обробітку в напрямку поступового посилення їх ґрунтозахисних функцій):

- Поверхневий основний обробіток – обробіток ґрунту, виконуваний різними знаряддями на глибину 5-10 см і менше. Уперше запропонований І. Овсиньським у кінці 19 століття, надалі знайшов широке застосування при підготовці ґрунту під озиму пшеницю й інші культури в найрізноманітніших ґрунтово-кліматичних умовах України. Добре зарекомендував себе як волого- і ресурсозберувальний агрозахід, а також захід, що істотно зменшує утворення брил.

- Мінімальний обробіток – обробіток зі зменшеною кількістю й глибиною. Мінімальним може бути основний, передпосівний й міжрядний

обробітки. Обробіток, що виконується комбінованими ґрунтообробними й посівними машинами, або міжрядний, якщо замінюється хімічним обробітком. На першому етапі впровадження цього способу для обробітку ґрунту використовували звичайні знаряддя (типу культиваторних або дискових знарядь), але, як правило, відмовлялися від плугу, надалі використовували спеціальні, переважно комбіновані машини. Мінімальний обробіток стримує мінералізацію органічної речовини й тим самим протидіє фізичній деградації ґрунтів.

- Безполицевий обробіток – технологія, що передбачає виключення плугу як знаряддя для основного обробітку ґрунту. Ця технологія передувала мінімальній і нульовій технологіям. Розглядається як технологія, здатна призупинити фізичну деградацію давньоорних ґрунтів.

- Нульовий обробіток – висаджування насіння у необроблений ґрунт шляхом нарізування борозенки потрібної ширини й глибини, достатньої для заглиблення насіння. Інші види обробки не застосовуються. Допускається лише обробіток піднасінного шару у випадку його переущільнення, але такий обробіток проводиться спеціальними знаряддями й надґрунтовий рослинний покрив у цей час не порушується. Обов'язковим елементом нульової технології обробітку є постійний рослинний покрив з живих або мертвих (стерні або мульчі) рослин. У світі застосовується на більш ніж 100 млн га. В умовах нульового обробітку, особливо після початкового перехідного періоду, у ґрунтах відсутні будь-які прояви деградації ґрунтів – установлюється бездефіцитний баланс органічної речовини, припиняється ерозія, поступово зникає переущільнення, відновлюються режими трансформації речовин і енергії, властиві ґрунту в природних умовах.

- Пряма сівба – сівба безпосередньо в необроблений ґрунт. Часто невірно розглядається як нульовий обробіток. Однак ним може стати, якщо пряма сівба здійснюється не епізодично, а постійно рік у рік при наявності на поверхні ґрунту постійного рослинного живого або мертвого покриву.

Якщо пряма сівба переривається традиційними способами поверхневими або глибокими обробітками, її ґрунтозахисний ефект і протидія деградації втрачається. Залишається лише економічна вигода.

- Покривна культура – культура, що утворює постійний рослинний покрив на поверхні ґрунту, що не порушується обробітками, має потужну кореневу систему для збільшення пористості й розуцільнення ґрунту у верхній частині кореневмісного шару. Характеризується мінімальною конкурентною здатністю з основною культурою. Найчастіше в якості покривних використовують овсяницю, райграс, конюшину, гірчицю й інші культури. Продукцію покривних культур звичайно використовують на корм худобі або реалізують.

- Колійне землеробство – використання машинно-тракторних агрегатів винятково по маршрутах, що передбачає значне зменшення загальної площі ущільнення поля в процесі вирощування сільськогосподарських культур.

- Новітні ґрунтофільні обробні знаряддя – знаряддя, що мають мінімальний кут атаки ґрунтообробного робочого органу й мінімальна кількість поверхонь, по яких ґрунт пересувається під час обробітку. Знаряддя, деформаційне зусилля яких не перевищують зв'язності агрегату агрономічно корисного розміру.

Безпілотне землеробство – виконання операцій з обробітку ґрунтів, інших операцій і збір урожаю безпілотними МТА. Новий спосіб високотехнологічного менеджменту, принципово придатний для організації робіт з керування родючістю ґрунтів з мінімальними витратами.

### **8.6. Конструювання ґрунтофільних знарядь обробітку**

Інтенсивність деформації ґрунту залежить від кута атаки й числа робочих поверхонь ґрунтообробного знаряддя. Чим більше кут атаки й більше робочих поверхонь, тим сильніше кришиться ґрунт. Звичайно, у цій взаємодії мають значення властивості ґрунту, його вологість і велика

кількість інших факторів, які потрібно врахувати, щоб обробітком ґрунту був створений шар оптимальної щільності й структурного складу й це не супроводжувалося зайвими (руйнівними) деформаціями. Складність полягає не тільки в численних задіяних в цьому процесі факторів і об'єктивних труднощів досягнення із цієї причини оптимального результату, але й у тимчасовій мінливості параметрів самого ґрунту і його просторовій строкатості. Це якоюсь мірою пояснює, чому дотепер вимоги до ґрунтообробної техніки залишаються нерозробленими.

Робочий орган ґрунтообробленого знаряддя, виконуючи основну роботу зі створення оптимальних для рослин параметрів структурного стану й щільності ґрунту, повинен перебороти сили зчеплення агрегату, не допускаючи його розпилення й переущільнення. Якщо обробіток буде проводитися в період, коли ґрунт перебуває в стані фізичної сплості, тобто, коли сили зчеплення мінімальні, а небезпека переущільнення велика, то вплив робочих органів на ґрунт має бути дуже помірним. У цьому складається суть обґрунтування новітніх (ґрунтофільних) знарядь. Звичайно при цьому виникає багато питань, які виходять за рамки цієї книги, – знищення бур'янів і внесення добрив - операцій, відповідальність за які також покладається на технічні засоби. Ці питання не є предметом нашого дослідження. Скажемо лише, що у світі зараз активно шукають (і вже знайшли) нові підходи до вирішення цих питань, не пов'язані із застосуванням обробітку. Рослинні залишки після збирання врожаю подрібнюють і залишають у полі, що робить непотрібним внесення гною, мінеральні добрива вносять одночасно із сівбою, а бур'яни поступово видаляють завдяки постійній покривній культурі.

Сили зчеплення під час обробітку визначаються сумою опору, необхідного для розрізування ґрунту, подолання внутрішнього тертя й внутріґрунтового зчеплення (власне кришення). Для подолання опору суми цих сил у більшості ґрунтів легкого й середнього гранскладу досить лише клина з малим кутом атаки й однієї робочої поверхні. Однак конструктори



використовують великий кут атаки й декілька робочих поверхонь, переслідуючи при цьому благі цілі – підсилити кришення й одержати сприятливий структурний стан після проходу знаряддя. Звичайно, це виправдано в ґрунтах, які характеризуються значними силами зчеплення, але є зовсім зайвим для ґрунтів, де такі сили невеликі. Тому що факторів, які визначають конкретний параметр сили зчеплення, незліченна безліч, а діапазон відповідного показника широкий (від 0 у піщаних ґрунтах до 100 кгс/см<sup>2</sup> і вище в солонцюватому глинистому ґрунті за низької вологості), виникає завдання проведення систематичних вимірів у географічному плані. На жаль, ґрунтознавці дотепер не вирішили це завдання й, мабуть, не зможуть вирішити його найближчим часом. Причини звичайні – відсутність приладів для масових вимірів і нестача фінансування для організації експедиційних робіт. Тому залишається уповати лише на наявні обмежені дані й розрахунок, опираючись на деякі інші більш доступні дані – педотрансферні моделі, які також ще потрібно розробити.

Відомо, що залежність міцностних властивостей ґрунтів від вологості має вигляд гіперболи, а від умісту в ґрунті тонкодисперсних часток – майже лінійний характер. Максимальні значення опору зрушенню – до 8-9 кгс/см<sup>2</sup> – формуються за низької вологості (при якій ґрунт взагалі не обробляють), зі збільшенням вологості показники опору швидко знижуються, досягаючи значень менше 1 кг/см<sup>2</sup> при вологості, близької до фізичної спілості, і далі не зростають. Якщо обробіток більшості орних ґрунтів України буде проводитися за вологості фізичної спілості, інтенсивний вплив на них з метою поліпшення кришення не потрібний. Сумарні сили опору повністю можна перебороти за допомогою помірно активних робочих органів. Крім того, важливо помітити, що сили зчеплення, обумовлені зв'язками, які з'єднують елементарні ґрунтові частки в мікроагрегати, переборювати також не потрібно. Інакше кажучи, загальне навантаження на ґрунт у процесі кришення можуть бути ще

меншими. Але, повторюємо, мова йде про обробіток ґрунтів за вологості фізичної спілості. Гіперболічний зв'язок між опором зрушенню й вологістю ґрунтів означає, що навіть невелике відхилення від цього стану у бік висушування приводить до багаторазового збільшення опору зрушенню. Тому дотримання основного агротехнічного правила – обробляти ґрунт тільки в стані фізичної спілості - є не тільки енерго- і ґрунтозберезувальним заходом у технології, але й принципово важливим положенням у конструюванні ґрунтообробної техніки.

Ще більш складна ситуація з конструюванням знарядь, які не утворюють пластичної деформації. Адже більшість ґрунтів країни (за винятком ґрунтів Полісся) внаслідок підвищеного вмісту тонкодисперсної гранулометричної фракції має схильність саме до такої деформації, особливо навесні. Виходить, потрібні легкі мобільні агрегати, здатні виконувати роботу, порівнянну з можливостями важких енергонасичених засобів.

У зв'язку із цим, здається, актуальним вернутися до обговорення завдання забезпечити сільськогосподарське виробництво потужним трактором із припустимим тиском на ґрунт. За допомогою такого трактора можна було б виконувати роботи в будь-яких ґрунтово-технологічних умовах, у тому числі весняні передпосівні операції й сівбу без переущільнення піднасінного й більш глибоких прошарків ґрунтів. Це надзвичайно важливо, адже небезпека переущільнення орних ґрунтів України є об'єктивно прогнозованою на площі більш ніж 20 млн га.

Отже, новітні ґрунтофільні вимоги до обробної техніки такі:

– зусилля, з яким робочий орган ґрунтообробного знаряддя впливає на ґрунт, не повинне перевищувати сумарного опору зрушенню, внутрішнього тертя й зчеплення агрегату агрономічно корисного розміру. Відповідні параметри фізико-механічних властивостей ґрунтів мають потребу в уточненні щодо основних типів орних ґрунтів з урахуванням гранскладу. При дотриманні цієї вимоги ґрунт не буде зайво

подрібнюватися, структурний агрегат агрономічно корисного розміру збереже свою будову й внутрішню пористість, що має велике значення в забезпеченні корінь рослин вологою й елементами живлення;

– зусилля, з яким робочий орган впливає на ґрунт, повинне регулюватися відповідно до вологості ґрунтів під час обробітку, а точніше з величиною опору кришенню, що виникає за такої вологості. Більше того, кришення ґрунтів повинне стати важливим регіональним параметром, тому що розмір агрономічно корисного агрегату, як це добре відомо ще з робіт К.К. Гедройця (1926), П.В. Вершиніна (1959) і Н.А. Качиньського (1963) залежить від рівня зволоження. Чим посушливіші кліматичні умови, тим меншим повинен бути розмір агрегатів і, відповідно, більш інтенсивним кришення. Але, звичайно, збільшення зусиль, що витрачаються на подолання сумарних сил опору агрегатів в аридних умовах, не повинне викликати розпилення поверхневого шару ґрунту;

– у посівному шарі або, принаймні, у тій його частині, що безпосередньо прилягає до насінь, необхідно по можливості, зосереджувати агрономічно корисні агрегати, причому їхній розмір не повинен набагато перевищувати розмір насінь. У такому випадку буде досягнутий помірно щільний контакт насінь із ґрунтом, швидке проростання й розвиток корінь. Вимоги до параметрів кришення поверхневого шару менш жорсткі – допускається наявність агрегатів більшого розміру, але кількість брил все-таки повинна бути мінімальною під час основного обробітку. У передпосівний період брил (грудки більше 10,0 мм) не повинно бути взагалі, тому що навіть 5 % їх зводить нанівець переваги сруктурного посівного шару (Д.І. Буров, 1969);

– кількість агрономічно корисних агрегатів, що можливо й бажано нагромадити в насіннев прошарку ґрунту, установлюється, виходячи з регіональної величини фактичної агрегації орного ґрунту. Так, у Лісостепу для чорнозему типового середньосуглинкового гранскладу потрібно прагнути до того, щоб у цьому шарі було до 60 % агрегатів оптимального

розміру від 10 до 0,25 мм, у такому ж ґрунті важкосуглинкового гранскладу – до 70 %. У той же час, для темно-каштанового важкосуглинкового ґрунту агрономічно корисних агрегатів реально може бути до 50 %, а їх верхній граничний розмір бажано зменшити до 7(5) мм.

Реалізація запропонованих вимог до кришення дозволить значно поліпшити структурний склад насінневого прошарку й тим самим поліпшити умови розвитку рослин у найбільш важливий період. Суть вимог полягає в тім, щоб позбутися від великих фракцій структурних окремоностей, тобто, підсилити інтенсивність кришення, і в той же час не допустити розпилення ґрунтів. Імовірно, виконання цієї вимоги стане можливим після того, як в інженерній механіці процедура виміру й регулювання інтенсивності кришення стане звичайною рутинною практикою. Цілком імовірно знадобляться нові підходи до кришення. Не виключається, що виявиться перспективним поєднання знарядь активного й пасивного типу, пошук технічних засобів для посилення інтенсивності кришення в існуючих знаряддях (за рахунок додавання нових ріжучих площин), розробка знарядь зі змінним кутом атаки робочих органів і інші нововведення.

### **8.7. Підтримка бездефіцитного балансу органічної речовини**

Внесення гною – універсальний засіб для запобігання майже неминучого зниження вмісту гумусу за інтенсивного сільськогосподарського використання ґрунтів. Оптимальний рівень внесення гною встановлюється виходячи з його кількості, необхідної для забезпечення бездефіцитного балансу гумусу. Тільки в цьому випадку є гарантія того, що фізичний стан ґрунту в процесі оранки не буде погіршуватися. Звичайно, якщо буде усунута дія інших факторів, що викликають деагрегацію (механічне руйнування за обробітку, поливу, внесення азотних або калійних добрив у підвищених дозах і інші) або переущільнення.

Дози гною для досягнення бездефіцитного балансу гумусу в

середньому для ґрунтів України становлять біля 10-11 т/га в рік з диференціацією для Полісся – 13-15, Лісостепу – 9-11 і Степу – 7-9 т/га (Б.С. Носко й ін., 1988). Однак, навіть у самі успішні для аграрного сектора України 80-і роки минулого сторіччя ці рівні не були досягнуті. Середньорічна максимальна кількість внесеного в орні ґрунти гною склало в ті роки близько 8,9 т/га (Стан родючості..., 2001). Зараз ситуація докорінно змінилася. Саме ця обставина разом з інтенсивною, зайво частим й глибоким обробітком, приводить, на наш погляд, до фізичної деградації орних ґрунтів. За цієї ж причини мінімалізація обробітку й досягнення бездефіцитного балансу органічної речовини є пріоритетними напрямками в подоланні деградації й досягненні стійкого землекористування.

У зв'язку з різким зменшенням поголів'я худоби в Україні застосування гною різко скоротилося. Тепер його щорічне внесення в ґрунт ледь перевищує 3-4 т/га, хоча точні дані на цей рахунок відсутні. Тому потрібно шукати інші способи підтримки бездефіцитного балансу органічної речовини. Найбільш реальний з них – залишення рослинних залишків на полі. При цьому потреба в гною для створення бездефіцитного балансу гумусу різко зменшується. У таблиці 32 приводяться розрахунки О.О. Бацули (2003), зроблені для господарств Харківського району Харківської області. При уведенні в сівозміну 20 % багаторічних трав навіть за 30 % просапних культур бездефіцитний баланс гумусу досягається вже при внесенні 1 т/га гною в рік і залишенні на полі 50 % соломи озимої пшениці. Більше того, така ситуація можлива взагалі без внесення гною, якщо кількість просапних культур не перевищує 20 % сівозмінної площі, а частка багаторічних трав становить 20 %.

Таблиця 32.

**Потреба в органічних добривах для створення бездефіцитного балансу гумусу залежно від структури посівних площ і використання побічної продукції**

Багаторічні трави,%	Частка просапних культур у сівозміні за 10 % чистого пару, %				
	10	20	30	40	50
Без пріорювання побічної продукції					
0	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
20	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
За пріорювання 50 % соломи озимої пшениці					
0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
20	0	0	1,0	1,5	2,0

Ізогумусовий коефіцієнт (кількість гумусу, що утвориться із сухої речовини рослинних залишків) у соломи озимої пшениці становить 10-15 %, що лише небагато менше, ніж у гною (20-40 %). Не менш ефективні інші зернові культури й багаторічні трави (15-25 %).

Ефективність зернових культур можна підвищити за рахунок високого зрізу, що залишає на полі більше рослинних залишків, глибокого пріорювання рослинних залишків (як і гною), що підвищує коефіцієнт гуміфікації. Правда, останнє суперечить нашій наполегливій орієнтації на мінімальний й нульовий обробітки, ґрунтозахисний і структурозберезувальний характер яких зовсім очевидний.

Імовірно, ефективні й інші органічні речовини (сапропелі й різноманітні відходи виробництва, що містять органічний вуглець), але їхній вплив на процеси запобігання фізичної деградації вивчені менше.

Гній для підвищення його меліоративної ролі також має потребу в поліпшеній підготовці й, зокрема, його ефективність як структуроутворювача підвищується за умови, що він вноситься не у вигляді перегною-сипцю, а в напівперепрілому стані, що зберіг волокнисту будову (В.В. Медведєв, 1988). Не можна не звернути увагу також на деякі інші особливості гною як меліоранта (саме цей аспект, а не зміст у ньому

доступних елементів живлення нас у цьому випадку цікавить). Гній ефективніше діє на ґрунтах середнього й важкого гранулометричного складу. Для того, щоб одержати від нього ефект на легкому ґрунті, його потрібно вносити в підвищених дозах. Ця особливість гною була помічена ще В.Р. Вільямсом (1940) і підтверджена в багатьох наступних дослідженнях (А.Г. Бондарев і ін., 1979).

У той же час внесення гною в більших дозах викликає більш помітне поліпшення структурного складу й одночасне збільшення пористості. Як наслідок, такий ґрунт легше піддається деформації й ущільнюється під дією ходових систем машинно-тракторних агрегатів (Р. Boekel, 1963). За повідомленням D. Adriano (1973), добре вгноєний ґрунт має досить неміцні агрегати, що легко руйнуються під дією крапель дощу.

У літературі зустрічаються повідомлення про негативний вплив гною на структурний стан і фізичні властивості ґрунтів (R.J. Olsen et al., 1970; P.J. Zwerman et al., 1970; A.G. Mathers et al., 1971; L.S. Murphy et al., 1972; Weeks M.E. et al., 1972). Воно виявляється, коли погіршується якість гною й у його складі з'являються одновалентні катіони.

Таким чином, гній, хоча й має універсальну властивість поліпшувати фізичний стан ґрунтів, все-таки вимагає урахування властивостей ґрунтів і ретельного дозування за внесення.

### **8.8. Удосконалювання структури сівозмін**

Загальновідоме значення сівозміни для підтримки фітосанітарного, водного, поживного режимів і в цілому родючості ґрунту, у тому числі його фізичного стану. Дотримання сівозміни – одне з неодмінних умов високої культури землеробства. Від типу сівозміни, культур, які передбачається до неї включати, їхнього чергування в часі залежить вибір технологій обробітку, всіх інших операцій і в остаточному підсумку, структура й щільність будови ґрунту. Після культур суцільної сівби фізичні властивості, як правило, кращі, ніж після просапних культур. Унаслідок цього структурно-агрегатний склад ґрунту в сівозмінах з

більшим насиченням просапними культурами змінюється в гіршу сторону. Виходячи із цього, потрібно при побудові сівозмін не допускати появи просапної культури частіше, ніж один раз у три роки на тому самому полі (Є.М. Лебідь і ін., 1992). У цій роботі, виконаної на чорноземах звичайних у північному Степу України, простежений вплив різних культур на структурно-агрегатний склад. Найбільшим чином на структуру впливали рослини з добре розвинутою кореневою системою й надземними органами, які покривали поверхню ґрунту з весни до збирання врожаю й не вимагали обробітку. Цим вимогам задовольняють багаторічні трави, злакові трави або їхні суміші, у яких маса коріння і надземних рослинних залишків близька до врожаю надземної частини. Тому під впливом багаторічних трав створюються водостійкі агрегати. Установлено, що чим довше ґрунт перебуває під рослинами й чим вище врожай, тим більше утвориться водостійких агрегатів. І навпаки, якщо ґрунт без рослин і піддається руйнівному впливу вологи атмосферних опадів і інтенсивному обробітку, то й структура гірша.

З однолітніх трав, підкреслюють Е.М. Лебідь і його співавтори, значно впливають на структуру бобово-злакові травосуміші, але через короткий період вегетації їхній ефект у структуроутворенні менше, ніж у багаторічних трав. Із зернових культур більшу здатність до утворення структури проявляють озимі зернові культури, у яких триваліше період вегетації, більш розвинена коренева система, вони краще захищають поверхню ґрунту восени й навесні від руйнівного впливу опадів і поталих вод.

Просапні культури, за винятком кукурудзи, що має добре розвинену кореневу систему, менше впливають на поліпшення структури ґрунту. Автори цієї роботи не зв'язують руйнування структури під просапними культурами з активізацією активності аеробної мікрофлори. Скоріше такий ефект обумовлений невеликою кількістю органічних залишків у ґрунті після них і більш інтенсивним обробітком ґрунту.



Таким чином, у процесі вирощування культурних рослин спостерігаються два різних явища: збільшення кількості водостійких агрегатів під час росту багаторічних трав, з одного боку, руйнування й поступове зниження змісту їх у ґрунті при вирощуванні однолітніх культур, з іншої сторони. Інтенсивність руйнування структурних агрегатів залежить від особливостей технології вирощування однолітніх рослин і кількості опадів до пізньої осені після їхнього збирання. Щоб підсилити перший процес – нагромадження органічних речовин і утворення більшої кількості водостійких агрегатів, потрібно вирощувати більш високі врожаї багаторічних трав. Для зменшення руйнування структурних агрегатів, підтримки й деякого поновлення структури ґрунту потрібно прагнути до того, щоб:

по-перше, однолітні рослини залишали в ґрунті більше органічної речовини;

по-друге, щоб ґрунт довше був укритий рослинами за рахунок введення в культуру поживних, ущільнюючих і післяукісних посівів після однолітніх культур, що рано забираються, а також шляхом розширення посівів культур суцільної сівби, і

по-третє, за раціонального обробітку ґрунту для забезпечення його фізичної будови потрібно по можливості виключати зайві обробітки.

Фактично, Е.М. Лебідь і його співавтори у своїй роботі виклали раціональну стратегію побудови сівозмін з метою охорони структури й у цілому фізичних умов у ґрунтах.

Для того щоб підтримувати сприятливий фізичний стан у чорноземах, потрібно включати в сівозміну трави й культури суцільної сівби, тобто, культури, що мають глибоку й розгалужену кореневу систему, що сприяє оструктурюванню ґрунту при житті й після відмирання через формування рухомих органічних компонентів, що склеюють агрегати. У той же час частка просапних культур обмежується.

Має сенс оцінити, яким чином існуючі в Україні рекомендації про

співвідношення культур у сівозмінах ураховують їхній можливий вплив на фізичні властивості ґрунтів.

У Лісостепу в типовій 10-пільній сівозміні допускається мати до 30 % цукрового буряка, 20 % кукурудзи й 10 % соняшника, тобто, усього до 60 % просапних культур. Це при нормальному зволоженні. З погіршенням зволоження частка цукрового буряка знижується до 20 %, кукурудзи й соняшника – залишається на тім же рівні (Наукові основи... у Лісостепу, 2010).

Приблизно таке ж співвідношення просапних культур і культур суцільної сівби рекомендується й у Степу, хоча тут цукровий буряк практично не вирощується, зате частка кукурудзи може зрости до 40-50, а в спеціалізованих сівозмінах і до 70-80 % (Наукові основи.....у Степу, 2010).

Інакше кажучи, рекомендується так, що на кожному конкретному полі просапна культура може вирощуватися через рік і навіть частіше. Цю систему ніяк не можна назвати ґрунто- і структурозберезувальною, тому що, за нашими неопублікованими даними, отриманими на прикладі Сумської дослідної станції, і даними Є.М. Лебідя і ін. (1992), просапна культура не може вертатися на те саме поле раніше чим через 2-3 роки.

На жаль, заслуговує критики й структура сівозмін, щорекомендується для Полісся (Наукові основи....Полісся ..., 2010). У цій зоні, де роль багаторічних трав для підвищення родючості ґрунтів і особливо створення бездефіцитного балансу гумусу важко переоцінити, їхня частка, згідно рекомендацій, повинна становити всього лише 10-15 %. Звичайно, для підтримки й без того невисокої оструктуреності дерново-підзолистих ґрунтів з урахуванням того, що дози внесеного в ґрунт гною в останні роки істотно скоротилися, цього зовсім недостатньо.

Планування сівозміни – складна акція, що повинна врахувати й сумісність і несумісність культур, і суспільно необхідні потреби в продовольстві й кормах для тварин, і, звичайно, збереження й підвищення

родючості ґрунтів. Для виконання останнього звичайно рекомендується включати в сівозміни бобові й зерно-бобові культури, що збагачують ґрунт азотом, сидеральні й пожнивні культури для підтримки бездефіцитного балансу гумусу, парові поля для очищення від бур'янистих рослин і нагромадження вологи. На жаль пар, що у посушливих умовах необхідний для одержання гарантованих сходів і пристойного врожаю озимої пшениці, у той же час є небажаною акцією для підтримки бездефіцитного гумусового балансу й, отже, структурного стану. Тому, виходити з міркувань охорони ґрунтової структури, від пару варто відмовлятися скрізь, де є можливість використовувати інші засоби, або використовувати замість чистого зайнятий пар.

На жаль, сьогодні у зв'язку із земельним реформуванням і парцелізацією полів сівозміни повсюдно порушені, частка вигідних на ринку культур (наприклад, соняшника) невинувато зросла, частка багаторічних трав і кормових культур через зменшення поголів'я худоби зменшилася. У результаті сформована система землеробства перетерпіла істотні зміни, і не в кращу сторону, що не може не відбитися й на структурі й щільності ґрунту. У зв'язку із цим не можна не підкреслити, що у свій час, коли була оцінена роль зміни культур для поліпшення фітосанітарного стану, водного, поживного режиму й у цілому родючості ґрунтів і уведені сівозміни, продуктивність сільськогосподарського виробництва різко зросла. У літературі нерідко можна знайти цілком справедливі судження про те, що зародження міжнародного ринку зерна стало можливим завдяки сівозмінам (Є.М. Лебідь і ін., 1992). Тому увагу до сівозмін послабляти ніяк не можна, тому що цілком може трапитися зворотний процес – різке погіршення продуктивності ґрунтів.

### **8.9. Мульчування рослинними залишками і пластичними матеріалами**

Мульчування – один з видів меліорації, що полягає в тім, що поверхню ґрунту вкривають різноманітними матеріалами (торфом,

соломою, тирсою, ошурками або плівкою) з метою поліпшення водно-теплового режиму. Мульчування відомо дуже давно, є відомості про те, що вже в 17 столітті суміш із листів і соломи застосовували з великою користю в найрізноманітніших умовах. Н. Хадсон (1974) думає, що вперше мульчування стали застосовувати в Північній Америці для боротьби з вітровою, а потім і з водною ерозією.

Покриття поверхні мульчею дозволяє впливати на весь комплекс факторів, що визначають фізичні умови в ґрунті. У північних країнах зі зниженою температурою під час появи сходів під мульчею температура ґрунту у верхньому шарі була вище на 3-4° С, чим без неї. У країнах із тропічним і субтропічним кліматом мульча, навпроти, здатна істотно знизити температуру й, більше того, зменшити добовий розмах у коливаннях температури з 20 до 7 °С (Д.А. Куртєнер і ін., 1969). У монографії Д. Джексона й ін. (1958) приводиться значне число цікавих фактів про використання мульчі.

Багато уваги мульчуванню приділяли в Агрофізичному НДІ РАСХН, де в якості мульчі використовували різноманітні пластичні матеріали. Власне саме тут були закладені основи тепломеліорації «холодних» ґрунтів. Спочатку за пропозицією А.Ф. Иоффе радіаційний баланс регулювали шляхом фарбування поверхні ґрунту в різні кольори. Біла мульча збільшувала відбиття сонячної радіації, а чорна, навпаки, сприяла її поглинанню. У досліджах інституту червона й синя плівки виявилися навіть краще чорної для врожаю салату. Причому його величина була набагато вищою, ніж у відкритому ґрунті.

Найбільш істотна зміна мікроклімату досягалася в умовах закритого ґрунту, у теплицях і парниках. До створення синтетичних плівок теплиці й парники являли собою досить важкі й дорогі споруди зі скла. Потім поступово скло заміняли різноманітними плівками – поліетиленовими, поліамідними, поліхлорвініловими й іншими. Вирощування багатьох культур під плівкою (фактично під мульчею) набуло значні масштаби, і не

тільки в «холодних», але й «теплих» країнах. Буваючи за кордоном, один з авторів цих рядків звернув увагу на величезну кількість теплиць навколо міст. Наприклад, Стокгольма, Варшави, Берліна, Парижа, Праги й навіть на півдні Франції.

В АФІ були розроблені методи прогнозу термічної ефективності мульчі залежно від її складу, прозорості, кольору, способів розміщення на поверхні. Досліджено особливості мульчування у відкритому й закритому ґрунті. Тут же проведені дослідження ефективності мульчування, коли в якості мульчі використовується стерня попередньої культури. У цьому аспекті, крім впливу на водно-тепловий режим, простежений її протиерозійний ефект. В останньому випадку дуже показовий дослід впровадження нульової технології. Про те, наскільки ефективно мульчування, свідчать результати численних досліджень впливу нульового обробітку на ґрунти, виконаних у країнах Америки і Європи й узагальнених нами (В.В. Медведєв, 2010). Постійний рослинний покрив з живих або мертвих рослин на поверхні ґрунту (фактично це та ж мульча) не тільки припиняє водну й вітрову ерозію, сповільнює мінералізацію органічних речовин, але навіть згодом придушує сходи бур'янистих рослин.

В Україні, особливо в Степу й Лісостепу (крім західної провінції) мульчування, безсумнівно, ефективно й у боротьбі з ерозією, і для поліпшення проблемного водного режиму. Наявні результати дослідів і практика підтверджують це (В.П. Гордієнко і ін., 1998). Цілком імовірно, що ефект відносно водного режиму був би цілком порівнянний зі зрошенням. Однак цей прийом залишається мало популярним у виробництві цих природних зон. Головна причина – явний недолік ефективних технічних засобів для здрібнювання й рівномірного розподілу по полю рослинних залишків, особливо після кукурудзи. У цьому плані становить інтерес досвід, використовуваний у США. Там кукурудзу забирають із залишенням стебел (мульчі). Потім ґрунт обробляють (тільки

в міжряддях) чизель-плугами або чизель-культиваторами, без обороту шару й без порушення мульчі. Застосовується також інший спосіб, коли після збирання качанів кукурудзи по полю проходить машина, що подрібнює стебла й рівномірно розподіляє їх по поверхні. Залежно від наступної культури ґрунт орють або обробляють культиватором. Рослинні залишки при цьому або частково попадають у верхній шар ґрунту або майже повністю залишаються на поверхні. У кожному разі вони ефективно захищають ґрунт від ерозії й тим самим дотримується принцип ґрунтозахисного землеробства - не залишати поверхню ґрунту без рослинного покриву. Для півдня України, де небезпека вітрової ерозії найбільш імовірна наприкінці зими – початку весни залишки кукурудзи зберігають свій захисний ефект до покриття ґрунту наступною культурою. Якщо раніше проблема якісного посіву в мульчований шар представляла певні труднощі, то тепер з появою сівалок для прямої сівби й ця проблема може бути з успіхом вирішена. Нема сумніву в тім, що мульчування представляється важливим агрозаходом не тільки підтримки фізичних властивостей ґрунтів у сприятливому інтервалі значень, але й у випадку з деградованими ґрунтами – їхнього поліпшення.

#### **8.10. Удосконалювання асортименту технології внесення мінеральних добрив**

Для того щоб мінеральні добрива стали вагомим фактором у подоланні деградації, потрібно з їхньою допомогою забезпечити ефективний ріст рослин і усунути можливу негативну дію на структуру ґрунту. Нижче ми зосередимо увагу на результатах проведених нами досліджень з вивчення впливу різних видів і норм застосування мінеральних добрив на структуру чорноземних ґрунтів.

Спочатку розглянемо отримані дані для чорноземних ґрунтів, удобрених низькими (по 60-100), середніми (по 120-360) і підвищеними (по 1200 кг діючої речовини на 1 га) дозами NPK. Для деяких об'єктів ми мали у своєму розпорядженні аналогічні результати вивчення дії на ґрунт

окремих видів мінеральних добрив. У досвідах вносили найпоширеніші добрива: аміачну селітру, суперфосфат, калійні солі й ін.

З макроморфологічних спостережень замічені особливості структури лише на тлі підвищених доз мінеральних добрив і особливо на тлі азотних добрив, де була трохи більша брилистість поверхневого шару. Однак брили на цих варіантах були неміцні й зберігалися лише до чергового обробітку.

З мікроморфологічних спостережень за структурою характерним було виразне погіршення порядковості агрегатів, співвідношення між- і внутріагрегатних пор, нагромадження неагрегованого матеріалу в порах тільки протягом першого року після внесення й тільки на підвищених дозах добрив. Через 5 років після внесення помітних розбіжностей між структурами різним чином удобрених варіантів не було.

Як і слід було сподіватися, не було значних відмінностей у гранулометричному і в мікроагрегатному складах. Для підтвердження того, що мінеральні добрива практично не вносять істотних змін на цьому ієрархічному рівні, виміряли питому поверхню ґрунту різноудобрених варіантів (табл.33).

Таблиця 33.

**Зміна питомої поверхні чорнозему типового при внесенні високих доз мінеральних добрив (м<sup>2</sup>/г при р/р<sub>0</sub> = 0,35)**

Варіант	м <sup>2</sup> /г	Варіант	м <sup>2</sup> /г	Варіант	м <sup>2</sup> /г
Контроль	52,4	N <sub>1200</sub>	53,8	K <sub>9600</sub>	46,1
P <sub>200</sub>	53,9	N <sub>4800</sub>	52,2	K <sub>19200</sub>	48,2
P <sub>1200</sub>	53,6	N <sub>9600</sub>	49,2	N <sub>200</sub> P <sub>200</sub> K <sub>200</sub>	51,4
P <sub>4800</sub>	55,5	N <sub>19200</sub>	50,7	N <sub>1200</sub> P <sub>1200</sub> K <sub>1200</sub>	49,3
P <sub>9600</sub>	54,5	K <sub>200</sub>	54,1	N <sub>4800</sub> P <sub>4800</sub> K <sub>4800</sub>	50,9
P <sub>19200</sub>	51,1	K <sub>1200</sub>	49,7	N <sub>9600</sub> P <sub>9600</sub> K <sub>9600</sub>	46,2
N <sub>200</sub>	52,0	K <sub>4800</sub>	46,1	N <sub>19200</sub> P <sub>19200</sub> K <sub>19200</sub>	46,7

Дійсно, навіть при внесенні екстремально високих доз різноманітних мінеральних добрив достовірних розходжень стосовно контролю не виявлено. Варто лише відзначити деяке зниження питомої поверхні, зв'язане, видимо, з коагуляцією колоїдів на більш насичених солями фонах.

Незначними були зміни й макроагрегатного складу (табл.34).

Таблиця 34.

**Зміна структурно-агрегатного складу чорноземів під дією мінеральних добрив (орний шар)**

Грунт, область	Варіант	Кількість агрегатів при просіванні (%), розміром (мм)			Коефіцієнт структурності	Уміст водостійких агрегатів розміром >0,25 мм	Коефіцієнт водостійкості
		>10	10-0,25	<0,25			
Чорнозем типовий (Сумська область)	Контроль	17	72	11	2,5	46	0,5
	N <sub>240</sub> P <sub>440</sub> K <sub>440</sub>	15	75	10	3,0	43	0,5
Чорнозем типовий Харківська область)	Контроль	38	57	5	1,3	37	0,4
	N <sub>1200</sub>	37	57	6	1,3	38	0,4
	P <sub>1200</sub>	24	69	7	2,2	44	0,5
	K <sub>1200</sub>	19	74*	7	2,8	47	0,5
	(NPK) <sub>1200</sub>	40	54	6	1,2	38	0,4
Чорнозем звичайний (Харківська область)	Контроль	28	63	9	1,7	38	0,4
	N <sub>240</sub> P <sub>240</sub> K <sub>120</sub>	28	64	8	1,8	38	0,4
	P <sub>1200</sub>	30	64	6	1,8	36	0,4
	P <sub>1200</sub> + N <sub>240</sub> P <sub>240</sub> K <sub>120</sub>	36	58	6	1,4	38	0,4
	N <sub>1200</sub>	36	53	11	1,1	36	0,4
	N <sub>1200</sub> +N <sub>240</sub> P <sub>240</sub> K <sub>120</sub>	27	61	12	1,6	43	0,5
	N <sub>960</sub> P <sub>960</sub> K <sub>380</sub>	30	63	7	1,7	32	0,3
	N <sub>3500</sub>	35	61	4	1,6	32	0,3
Чорнозем південний (Миколаївська область)	Контроль	28	63	9	1,7	46	0,5
	N <sub>40</sub> P <sub>90</sub> K <sub>20</sub>	11	74	15	2,8	42	0,5
	N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>60</sub>	31	57	12	1,3	31**	0,4



На чорноземі типовому Сумської області до початку досліджень було внесено малими дозами більше 1,1 т діючої речовини N, P і K на 1 га. Дослідження структурно-агрегатного складу протягом 3-х років (у таблиці демонструються середні дані) показали, що ці добрива не вплинули на кількісні співвідношення агрегатів різного розміру і їх водостійкість. У Харківській області на аналогічному ґрунті дослідження проводили через два роки після внесення зазначених у таблиці доз добрив протягом наступних п'яти років. У перші роки вірогідно знижувалися зміст агрономічно корисних агрегатів і їх водостійкість на фонах P і NPK, у наступні роки оструктуреність на різних варіантах вирівнялася.

Аналогічно складалася динаміка структурно-агрегатного складу на чорноземі звичайному, де спочатку майже вдвічі знизилася водостійкість на варіантах з мінеральними добривами, а потім розходження по варіантах зникли.

Нарешті, на чорноземі південному дослідження проводили в рік внесення добрив і далі їх не вели, тому що дослід був тимчасовим. Тут виявилось погіршення водостійкості при внесенні середньої дози мінеральних добрив. Важливо підкреслити, що це відбулося на тлі застосування 15 т/га гною.

На підставі цих даних можна затверджувати, що структурно-агрегатний склад чорноземів типового й звичайного під дією високих доз мінеральних добрив був стабільним, незважаючи на його погіршення в перші роки. Більше того, через 6 років навіть виявилася тенденція деякого поліпшення структурно-агрегатного складу в чорноземі типовому Харківської області. У чорноземі південному стабільність макроагрегатів була, видимо, нижче.

Таким чином, мінеральні добрива, внесені в ґрунт навіть у високих дозах, за нашими даними, не викликають стійких негативних наслідків для структурного стану ґрунтів.

## 8.11. Хімічна меліорація

Внесення до ґрунту сполук, що містять кальцій, – мабуть, такий же універсальний спосіб підтримки структурного стану, як мінімалізація обробітку й внесення органічних речовин. Особливо важливого значення внесення кальцію набуває в ґрунтах, де їх недостатньо, і там, де процеси сучасного ґрунтоутворення можуть привести до втрат кальцію. Виходячи з наявних даних про зміст і динаміку кальцію (і сполученої з ним реакції ґрунтового розчину) в основних ґрунтово-кліматичних зонах України варто рекомендувати його активне використання для поліпшення структурного стану в зоні Полісся (вапнування супіщаних і суглинкових різновидів ґрунтів), у зоні Степу (гіпсування солонцюватих ґрунтів) і в зоні Лісостепу (для підтримувального вапнування чорноземних і темно-сірих опідзолених ґрунтів) (Б.С. Носко і ін., 1988; Стан родючості...,2001).

Необхідно підкреслити необхідність кальцію і для типових чорноземів, де до недавніх пор доцільність їхнього внесення в ці ґрунти навіть не розглядалася. Однак тривале екстенсивне використання цих ґрунтів обумовило зниження в них змісту обмінного кальцію. У сучасних умовах інтенсифікації землеробства, за дефіцитного балансу гумусу й переважного застосування азотних добрив цей процес підсилюється (Г.Я. Чесняк, 1973; за Б.С. Носко й ін., 1988; В.Д. Муха, 1979, і ін.). У зв'язку із цим у чорноземах типових значно підвищилася гідролітична кислотність. Якщо в 60-і роки минулого сторіччя до початку інтенсивної хімізації землеробства гідролітична кислотність чорноземів типових в основному була не більше 2 мг-екв. на 100 ґрунту, то в 80-і роки на більшості масивів цих ґрунтів вона досягла 3-4 мг-екв. на 100 г ґрунту, а в багатьох господарствах західних областей навіть 4-6 мг-екв. на 100 г ґрунту.

Періодичне (1 раз у 8-10 років) внесення кальцій-утримувальних речовин у нормі не нижче 3-4 т/га з розрахунком на  $\text{CaCO}_3$  запобігає підкислення чорноземів типових і можливе погіршення їхнього

структурного стану. Післядія цього прийому зберігається протягом 8-10 років (Б.С. Носко й ін., 1988).

У нашому досліді під дією гіпсу в чорноземі типовому також поліпшувалися фізичні властивості, мікроморфологічні характеристики ґрунту й агрегатів, зростав урожай (В.В. Медведєв і ін., 1986, табл. 35).

Таблиця 35.

**Зміна мікробудови, пор і агрегатів чорнозему типового за внесення гіпсу**

Показники	Строки визначення	Варіанти досліді	
		N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>40</sub> +гіпс 3 т/га
Структурно-агрегатний склад:			
агрегати розміром 10-0,25 мм			
за сухого просіювання,%	3	60	75
водостійкі агрегати,%	3	39	48
Коефіцієнт оформленості агрегатів	3	0,30	0,40
Видима пористість,%	3	25	33
Співвідношення мікро- і макроагрегаційних форм гумусу	3	35:65	45:55
Кількість неагрегованого матеріалу розміром <0,05 мм у порах,%	3	15	8
Щільність додавання, г/см <sup>3</sup>	1	1,07	1,07
	2	1,22	1,16
	3	1,18	1,16
Водопроникність, мм водн. ст.	1	108	110
	2	174	247
	3	102	154
Інтенсивність дихання, мг СО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup> у годину	1	330	298
	2	510	600
	3	290	340
Урожай зеленої маси проса, г/м <sup>2</sup> (% до контролю без добрив і без гіпсу)	3	683 (118)	1081 (158)
1- на початку, 2- в середині, 3 – в кінці вегетації			

### 8.12. Агролісомеліорація

В узагальнюючій роботі П.Г. Адєрихіна й ін. (1983) відзначається позитивний вплив лісових насаджень і лісосмуг на структурний стан ґрунтів. Так, в 80-літніх насадженнях з дуба черешчатого вилужені чорноземи придбали високу агрегованість і водостійкість. Коефіцієнт

водостійкості склав 0,63-0,87 для агрегатів більше 1,0 мм і 0,82-0,91 для агрегатів більше 0,25 мм. Чорноземи під лісосмугами за оструктуреності перевершували перелогові чорноземи. Звертає на себе той факт, що на ріллі вже в міру наближення до лісосмуги в орному шарі чорноземного ґрунту значно збільшується грудкуватість (з 18-28 до 44-46 %) і водостійкість агрегатів. Аналогічні факти відзначаються в тій же роботі для ґрунтів під лісами на півдні України й у Молдавії, а також в умовах Донбасу після 10 років існування контурно-меліоративної системи землеробства (В.А. Зуза, 1998).

Тут же доречно згадати дані Н.А. Качиньського (1965) про надзвичайно високу оструктуреність ґрунтів під лісом, і ще більш ранні подібні зауваження В.В. Докучаєва (1883). Але це справедливо лише за умови достатнього або хоча б помірного зволоження. За нестачі вологи лісосмуги не тільки не здатні оструктурити ґрунт, але й взагалі випадають. Як помітив Н.А. Качиньський і ін. (1971), з'ясовуючи причини масового випадання лісосмуг на трасі Волгоград-Очеретин, лише там, де в лісосмугах був розвинений трав'яний покрив (хоча б з бур'янистих рослин), структурний стан ґрунтів поліпшувалося.

Загальною закономірністю впливу зрілих лісових насаджень на чорноземні ґрунти є відсутність процесів опідзолювання. Навпроти, підсилюється процес біологічної акумуляції азоту, фосфору, сірки, марганцю. Чорноземні ґрунти під лісовими насадженнями характеризуються високим умістом гумусу. За цього показника вони близькі до перелогових чорноземів, а в деяких випадках навіть перевершують їх.

Про це ж свідчать дослідження К.Б. Новосада (2001), що небезпідставно стверджує, що під деревним покривом формуються особливі чорноземи – підтип лісових чорноземів, які часто зустрічаються під лісами Лісостепу й особливо Степу і які не мають ознак опідзолювання.

Поселення деревної рослинності на чорноземних ґрунтах, як вказується в згаданій роботі П.Г. Адерихіна й ін.(1983) не змінює основних рис гумусу, але викликає появу деяких особливостей у його якісному складі. У ґрунтах під давніми лісовими насадженнями в шарі 0-30 см збільшується вміст гумінових кислот, а в їхньому складі – рухомої фракції, що свідчить про посилення процесів гумусоутворення, а виходить, і процесів структуроутворення.

### **8.13. Структурна (технічна) меліорація**

Структурна меліорація – це поліпшення фізичного стану ґрунту шляхом зміни її структури. Має порівняно широке поширення в інженерній геології й ґрунтознавстві. Застосовується для поліпшення здатності ґрунтів витримувати навантаження, усунення просадок й інших негативних властивостей, що зменшують міцність і довговічність будівельних конструкцій, зведених на ґрунтах. Перетворення структури здійснюється за допомогою фізичних, фізико-хімічних і фізико-механічних методів. Для цього застосовуються термічна обробка ґрунтів, уїдення в них різноманітних в'язких компонентів або добавок, що змінюють склад і співвідношення твердої й рідкої фаз ґрунту. Одержали поширення такі прийоми технічної меліорації як віброущільнення, кольматація, глинизація, цементация, силікатизация, вапнування, зміцнення ґрунтів полімерами (Г.И. Банник, 1976). Деякі із цих прийомів були випробувані в ґрунтознавстві. Найбільшу популярність одержали піскування, глинування, формування різноманітних прошарків у профілі ґрунту (так званих антифільтраційних екранів).

Збагатити піщаний ґрунт глиною, а глинистий – піском, і тим самим поліпшити структурний стан ґрунтів з потенційно несприятливими умовами для агрегації – дуже приваблива, але мало реальна з економічної точки зору ідея. Незважаючи на це в літературі можна знайти чимало наукових досліджень на цю тему (В.В. Бузмаков, 1975; А.Г. Гараев і ін., 1980; О.Я. Демідієнко і ін., 1980; Д.Г. Тихоненко й ін.,1983). Крім

економічних сумнівів, виникало чимало інших, у тому числі про можливість процесу агрегації при змішуванні глини з піском. І цей сумнів цілком виправданий, якщо взяти до уваги, наскільки складні механізми і хімізм процесу агрегації в ґрунтах. Ще в кінці 19 століття Фадєєв і Вільямс намагалися одержати водостійкі агрегати шляхом змішування глини з піском, але нічого із цього не вийшло. Тільки додавання до суміші аміачної витяжки із чорноземного ґрунту привело до утворення структур, якоюсь мірою схожих на водостійкі природні агрегати.

До структурних меліорацій часто відносять відносно нові технології формування непроникних для вологи прошарків у днищах зрошувальних каналів, різноманітних сховищ (нафти, промислових і сільськогосподарських стоків, а також сховищ вологи місцевого стоку). Цю ідею висунув О.Н. Соколовський, а розвинули М.К. Крупський і О.Я. Демидієнко. Однак цей напрямок структурної меліорації ми розглядати не будемо, тому що в ньому передбачається не створювати структуру в ґрунті, а, навпроти, її руйнувати за рахунок дії натрієвих солей.

До структурних меліорацій можна віднести спосіб, коли ґрунт у процесі обробітку сепарують на окремі фракції, при цьому фракції агрономічно цінного розміру акумулюють у шарі, куди зароблюється насіння разом з добривами, забезпечуючи тим самим насінням найкращі умови для проростання й розвитку кореневої системи. Спосіб був реалізований нами за допомогою комбінованої машини порівняно простої конструкції. Ціль обробітку досягалася в такий спосіб. Ґрунт, підтятий лемешем, за допомогою напрямних дисків і копіювального механізму подавався до пристрою, що здатний сепарувати ґрунт. Одночасно під напором повітря сім'япровід укладав під леміш насіння. Ротор захоплював ґрунт, кришив і переміщав його ґратами. Агрономічно корисні агрегати, проходячи через зазори ґрат, покривали покладені в борозенку насіння. Ножі ротора, переміщаючись між прутами ґрат, очищали їх від ґрунту,

рослинних залишків і переміщали великі грудочки в поверхневий шар. Обробіток завершувався прикочуванням.

Комбінована машина практично виключала із зони закладення насіння грудочки крупніші за 10 мм.

Тому що процес підйому шару і його сепарації здійснювався досить швидко, істотних втрат вологи не спостерігалось. Звичайно висіяні насіння накривали агрономічно корисними агрегатами, що зберігають вологу у внутріагрегатних порах. Крім того, прикочування забезпечувало щільний контакт насінь із ґрунтовими грудочками й додаткове надходження вологи з піднасінного прошарку. Все це забезпечувало швидке проростання насінь, розвиток коріння, надземної маси й формування врожаю. Переваги такого обробітку виявлялися на всіх фенологічних фазах розвитку рослини, починаючи із дружної появи сходів.

Комбінована машина пройшла повний цикл агрономічних і технічних випробувань і одержала позитивну оцінку, підготовлена необхідна документація для її серійного виробництва. Результати викладені в публікаціях і захищені рядом авторських свідоцтв (В.В. Медведєв і ін., а.с. 731914; 1069649; 1077588; 1168116; 1158063; 1202499; 1218943; 1431700; 1386063; 1416066).

Запропонований спосіб сепарації й акумуляції агрономічно найцінніших агрегатів відкриває можливості оптимізувати умови для проростання насіння і формування коріння не тільки в ґрунтах з високим потенціалом агрегації, але й у ґрунтах із трохи гіршими властивостями. У цілому структурна меліорація як спосіб поліпшення структурного складу орних ґрунтів, видимо, перспективний, але поки слабо розвинений напрямок в оструктурування й поліпшення фізичних властивостей ґрунтів.

#### **8.14. Штучне оструктурування**

Є дані, що вказують на високу агрономічну цінність агрегатів слабо оструктурених деградованих ґрунтів, утворених за допомогою штучних структуротворників. Їхня кількість у такому ґрунті після обробки

структуротворників зростає, вони пористі, водостійкі, механічно міцні й навіть запас поживних речовин, наявний у них, вивільняється поступово й не є інгібітором для біологічного населення ґрунтів (Н.А. Качиньський, 1963). Не можна не відзначити величезної переваги штучних структуротворників у порівнянні із традиційними органічними речовинами - це можливість домогтися оструктурювання ґрунтів практично відразу після внесення. Навіть найкращий для агрегації ґрунтів гній, що не втратив волокнистої будови, не може гарантувати такого майже миттєвого результату. Крім того, штучні структури можуть бути використані й в інших цілях – для закріплення сипучих пісків, для боротьби з пилом на аеродромах, для закріплення дна й укосів каналів і т.і.

Починаючи з 30-х років минулого сторіччя й майже протягом 50-60 років, штучне оструктурювання було дуже популярно в СРСР, США, Німеччині. В останні десятиліття інтерес до них падає.

У якості речовин, що склеюють ґрунт, випробувані різноманітні продукти природного й штучного походження, а також відходи виробництва. Найбільшу ефективність показали полімери виробництва американської фірми Monsanto, синтезовані спеціально для цілей агрегації ґрунтів. Будучи внесеними в ґрунт навіть у малих кількостях (0,05-0,1 % до маси ґрунту), вони поліпшують структурний стан слабо структурних ґрунтів.

Становить інтерес апробувати з метою поліпшення деградованих чорноземів легко- і середньосуглинкового гранулометричного складу полімерні гідрогелі, що сильно набухають. Як показано в роботі Н.Б. Садовникової і ін. (2012), додані до грубодисперсного ґрунту вони здатні істотно поліпшити їх водоутримну здатність, ґрунтово-гідрологічні константи, діапазон доступної вологи, і що особливо важливо, характеристики порового простору.

Високу ефективність штучного структуроутворення довели О.М. Грінченко й ін. (1959), обробляючи зразки лесу «анаеробним» і



«гідролізованим» гумусом. Перший з них був отриманий при розкладанні маси сіна в анаеробних умовах, другий – при обробці бобово-злакової травосуміші розчином гідролізата в присутності антисептика. Отримані агрегати мали переважно агрономічноцінні розміри й високу водостійкість. Правда, для їхнього формування треба було багато часу – близько 30 місяців. Автори своєю роботою підтвердили відомі положення, які довів О.Н. Соколовський, про роль глини, кальцію й органічної речовини як необхідних факторів утворення повноцінної структури. Адже карбонатний лес і свіжа органічна речовина містили названі компоненти. У всіх інших варіантах досліду, коли один з названих факторів був відсутній, агрегати не формувалися або були помилковими (неміцними й неводостійкими). Органічна речовина активно просочувала агрегати, а потім після її ренатуралізації сприяла їхньому закріпленню. Характерно, що гумус, отриманий в аеробних умовах, не сприяв агрегації (він просто повністю розкладався протягом експерименту), так само як різні схеми змішування лесу з водою.

Таким чином, штучне оструктурування може виявитися успішним, якщо буде відтворювати природні умови агрегації, або, принаймні, зможе якимось чином заповнювати відсутні фактори агрегації.

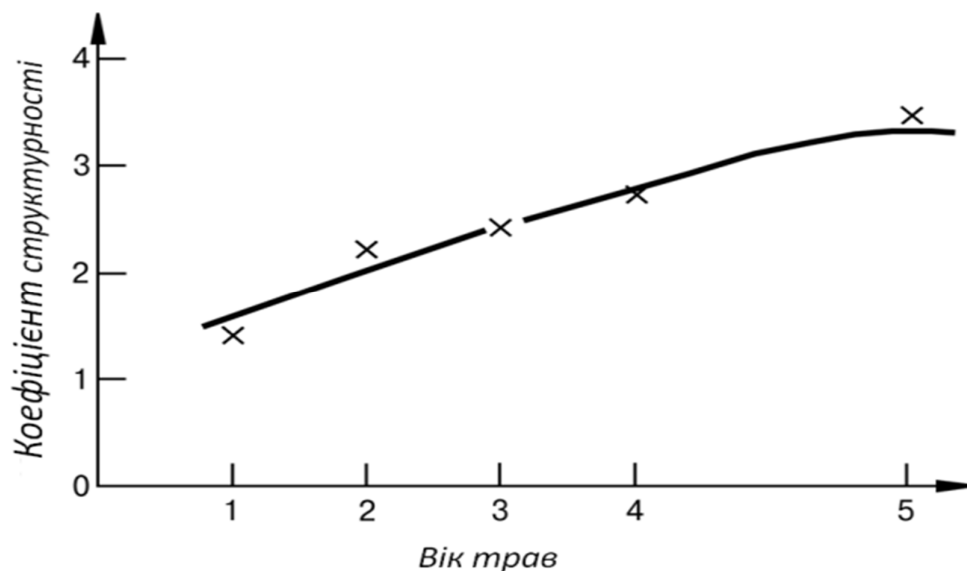
Якщо надалі будуть отримані штучні структуротворники за доступною ціною, що характеризуються високою структуротворною активністю при внесенні в ґрунт у невеликих (не більше 0,5-1,0 т/га) і стійкістю створених агрегатів у часі, є всі підстави очікувати реанімації інтересу до них. Адже об'єктів для вигідного їхнього використання для поліпшення деградованих ґрунтів скільки завгодно, наприклад, для боротьби з кіркою, прискорення розуцільнення переуцільнених ґрунтів, підвищення стійкості поверхні при поливах і т.і.

### **8.15. Фітомеліорація**

Добре відомо, що чим довше ґрунт перебуває під травами, тим краще його структурність після обробітку й відповідно кращі фізичні умови. Ідея

відновлення фізичних властивостей ґрунту за допомогою корневих систем трав покладена в основу травопільної системи землеробства В.Р. Вільямса, а знедавна нульового обробітку ґрунтів. Треба, однак, підкреслити, що якщо в умовах Воронежської області (заповідник «Кам'яний степ») структурність чорноземного ґрунту вже на 5-ий рік перебування під травами поліпшувалася більш ніж в 2 рази (П.В. Вершинін, 1959; рис. 8.15.1), те в умовах темно-каштанового суглинного ґрунту після приблизно такого ж строку росту трав ефект значно менше (М.І. Савінов, 1936, табл. 36). Причина зовсім зрозуміла – різні умови росту й розвитку корневих систем трав через неоднаковий режим зволоження.

Точно також при залишенні на полі постійного рослинного покриву, як того вимагає нульовий обробіток, тільки наприкінці перехідного періоду, тобто, через 4-5 років, у багаторічних дослідках у Франції стає відчутною дія корневих систем на щільність і структуру ґрунтів (В.В. Медведєв, 2010).



**Рис. 8.15.1. Структурний склад чорноземного ґрунту під багаторічними травосумішами:**

1 – овес із підсівом трав, 2,3,4,5 – трави відповідно 1, 2, 3, 4 і 5 років користування

Таблиця 36.

**Структурний склад темно-каштанового суглинкового ґрунту  
під коріннями трав (в % до маси ґрунту)**

Поле	Діаметр фракцій, мм						Коефіцієнт структурності
	>10	10-3	3-1	1-0,5	0, 5-0,25	<0,25	
4-х літній пар	48,6	13,6	12,1	13,1	5,8	6,8	0,8
4-х літня люцерна з житняком	36,7	20,0	19,9	10,3	7,1	6,0	1,3

Як ми демонстрували вище, ґрунт здатний відновлювати структуру, якщо його просто залишити в спокої й не обробляти або навіть, якщо інтенсивний обробіток змінити на менш інтенсивний мінімальний й тим більше нульовий. Напевно, причина полягає в тому, що механічний обробіток є потужним чинником дестабілізації структурного стану. Постійні механічні розпушування, що супроводжують сучасну систему землеробства, гальмують хід процесів агрегації. Вони підсилюють аеробіоз, а разом з ним активізують діяльність відповідної мікрофлори й прискорюють мінералізацію органічних речовин. Нема сумніву в тім, що ця руйнівальна сторона механічного обробітку незрівнянно сильніша її агрегувальної здатності. Якщо вже зовсім точно, то ніякої агрегувальної здатності у механічного обробітку немає й бути не може. Механічний обробіток лише реалізує потенційні можливості до агрегації самого ґрунту, та й то, якщо проводиться за вологості фізичної спілості. Формування агрономічно корисної, механічно міцної, водостійкої і пористої структури залежить від зовсім інших факторів. Обробіток може утворити такого роду структуру, якщо в ґрунті гармонійно сполучається наявність тонкодисперсної органічної й мінеральної частин, а також полівалентних катіонів. Саме взаємодія цих обов'язкових компонентів формує структуру, що при обробітку розпадається на окремі структурні окремісті. Якщо ж у ґрунті немає умов для формування такої структури, то один лише

обробіток не здатний її сформувати. Саме, навпроти, у ґрунті з недостатньо вираженим структурним станом після обробітку можуть утворитися лише брили або пил.

Здатність ґрунту відновлювати структуру під травами відома надзвичайно давно, відтоді, коли виснажений ґрунт стали виводити з обробітку й залишати його в перелозі (так звана перелогова система землеробства). Звичайно, фактором агрегації при цьому виступають кореневі системи й позитивний баланс гумусу.

Не можна не відзначити, що цей древній спосіб відновлення структури продовжує залишатися актуальним і в наші дні, коли деградація структури внаслідок дефіцитного балансу органічної речовини й кальцію, інтенсивних методів обробітку, ґрунтовиснажливих сівозмін і інших причин стає дуже широко розповсюдженим явищем. На цьому тлі можливості підтримувати структуру активними способами надзвичайно обмежені. Тому виведення частини деградованих ґрунтів з ріллі й залишення їх під заростання (ренатуралізація) або залуження багаторічними травами можна розглядати як ефективні способи. Як приклад розглянемо питання формування структури під травами під час біологічного етапу рекультивації земель.

Формування структури з одночасною трансформацією кількісного і якісного складу органічної речовини фактично із самого початку процесу ґрунтоутворення вдалося простежити на модельному полігоні в Харківській області, закладеному Л.В. Єстеревскою в 1986 р. На полігоні проводяться дослідження динаміки ґрунтоутворних процесів на техногенних ґрунтах, придатних для фіторекультивації, за участі бобово-злакової травосуміші. У цей час роботи на полігоні проводить А.Ф. Момот (В.О. Забалуєв і ін., 2004). Усього було закладено п'ять моделей: 1 – літозем лесовий; 2 – літозем змішаний (лесовидний суглинок + пісок у співвідношенні 1:1); 3 – литозем змішаний (червоно-бура пліоценова глина + пісок 1:1); 4 – ґрунтозем комбінований – шар 0-40 см (суміш

гумусованого субстрату + лес 1:1), покладений на лес ( 40-60 см) і підстелений відвальною сумішшю нефітотоксичних порід; 5 – ґрунтозем комбінований – шар 0-40 см із гумусованого субстрату підстелений відвальною сумішшю нефітотоксичних порід.

Результати дослідження оструктуреності на 17-й рік функціонування полігону показують, що найбільш активно процеси агрегації протікають на літоземах, однак абсолютні показники оструктуреності й водостійкості залишаються більш високими на моделях з насипним гумусованим шаром.

У дослідженнях були оцінені зміни кількості і якості гумусу, а також розрахована його агрегувальна здатність. Остання величина була отримана шляхом віднесення величини агрегованості до 1 % гумусу. Вони показали, що агрегувальна здатність гумусу була істотно вищою на ґрунто- і літоземах лесового складу в порівнянні з літоземами глинисто-червоно-бурими опіщаними.

У цілому, за 17 років моделі, незважаючи на їх різний якісний склад, демонструють досить високий рівень агрегації, порівнянний з агрегованістю суміжних зональних ґрунтів. Все це свідчить про ефективність відновлення структури методом виведення ґрунтів з ріллі, або під залуження, або просто шляхом залишення під заростання (ренатуралізацію).

В.Р. Вільямс (1940) і майже одночасно з ним П.А. Костичев (1940, за публікацією 1951) відзначали, що грудкувата (зерниста) водотривка структура в природних умовах створюється під покривом багаторічних бобових і пухкокущових трав. Із цього постулату були розвинені положення про те, що для підтримки структури в умовах сільськогосподарського використання в сівозміні обов'язково повинні бути присутніми бобово-злакові травосуміші. Це найважливіша й чи не єдина умова оструктурування, відновлення й підвищення їхньої родючості (поряд, звичайно, з органічними добривами, значення яких для «пожвавлення» біологічних процесів у ґрунті також підкреслював

В.Р. Вільямс).

У наступні роки вивченню впливу різних сільськогосподарських культур і різних сівозмін на структурний склад ґрунтів присвячені численні дослідження. Пріоритет у цьому питанні належить О.Г. Дояренко, Г.А Павлову, Ф.Ю. Гельцер, Н.І. Савінову, які проводили свої роботи в першій третині ХХ століття. У їхніх дослідженнях була підтверджена концепція В.Р.Вільямса про велике значення багаторічних трав у створенні структури, а виходить, і сприятливих фізичних властивостей ґрунтів підзолистого типу. Однак, у чорноземах (у лісостепових й особливо в степових умовах) через нестійкий режим зволоження й невисокі урожаї відношення до багаторічних трав не було настільки одностайним.

Багатьма дослідниками (Т.С. Мальцев, К.Е. Бурзі й інші) підкреслювалася роль однолітніх культур в оструктурюванні ґрунтів. Але тут, видимо, варто визнати правильною точку зору Н.М. Тулайкова (1963) про те, що значення сільськогосподарської культури в поліпшенні фізичних властивостей ґрунту тим вище, чим більше маса, що накопичується цими культурами, більше післязбиральних (надземних і підземних) залишків.

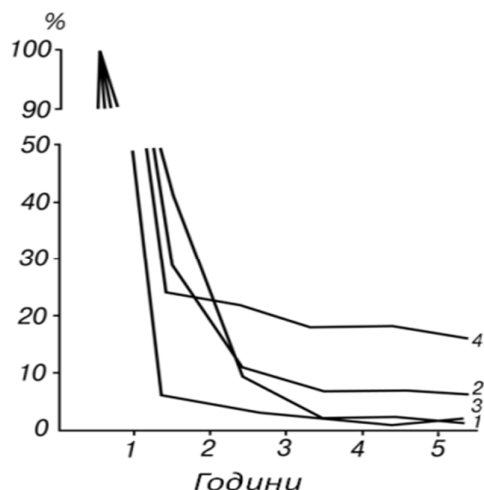
Багато уваги вивченню цього питання приділив Н.А. Качинський (1963). Зокрема, він підтвердив, що дійсно бобово-злакова травосуміш, а з бобових люпин і люцерна мають кореневу систему, що за масою переважає кореневу систему льна, вівса, жита, пшениці й особливо досить слабку кореневу систему картоплі й буряку, якщо не брати до уваги їхні коренеплоди. Отже, як справедливо думає Н.А. Качинський, ці рослини, як і трави, будуть оструктурювати ґрунт у ризосфері за рахунок діяльного перегною, що утвориться після розкладання коріння, а також внаслідок розленувальної дії їхньої густої мережі. У середньому на 1 га західнопередкавказького чорнозему до глибини 2 м у період цвітіння рослин знайдено корінь пшениці 5 т, дворічного перелогу 6,61 т, кукурудзи

7,18 т, люцерни 8,51 т. Н.А. Качинський звертає увагу на принципову різницю в оструктурювальній здатності між однолітніми й багаторічними рослинами. Однолітні рослини до періоду плодоношення концентрують всі поживні речовини – білки, вуглеводи, жири – у репродуктивних органах, у зерні й насінні. У стеблах і коріннях їх до цього часу залишаються переважно деревинні залишки. При загортанні ж багаторічних трав заорюють живі коріння й кореневища, поживні живі рештки стебел і бруньки поновлення, що містять значну кількість білків, вуглеводів, інших пластичних з'єднань і поживних речовин. Особливо це відноситься до бобових рослин – конюшині, люцерні, сераделлі, еспарцету, люпину, на коріннях яких поселяються азотфіксуючі бульбочкові бактерії. Варто також пам'ятати, додає Н.А. Качинський, що бобові трави, особливо конюшина й люцерна, кальцієфіли. концентруючи кальцій у своїх коріннях і стеблах, при загортанні збагачують ними орний шар, що дуже важливо на кислих ґрунтах. На рис. 8.15.2 і 8.15.3 наведені деякі з даних Н.А. Качинського про водоміцну ґрунтову структуру, визначену за методом Фадєєва-Вільямса й, що формується під різними культурами на чорноземі звичайному й дерново-підзолистому ґрунті.

В умовах сучасного інтенсивного використання чорноземів, застосування різних спеціалізованих сівозмін, що здобувають нерідко характер монокультури (наприклад, у структурі посіву на чорноземах південних частка озимої пшениці може досягати 70 %, а частка соняшника в 30-35 %) вивчення впливу різних сільськогосподарських культур на зміну структурного складу й ґрунтово-фізичних умов життя рослин одержує новий зміст.

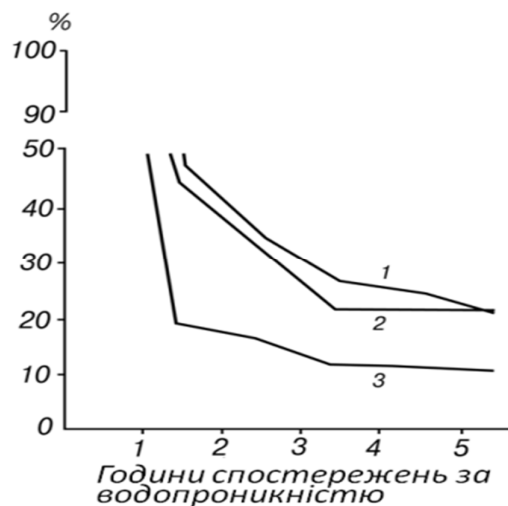
Вплив окремих культур простежено протягом декількох років у типових сівозмінах. На жаль, у нас поки відсутні дані про вплив на структурний склад ґрунтів соняшника. Можна лише послатися на дослідження Н.А. Качинського (1963), що встановив, що кількість корінь соняшника в період цвітіння трохи перевищує їхню кількість у пшениці й

лише дещо уступає люцерні другого року користування. Найбільшу позитивну дію на агрофізичні властивості робить культура суцільної сівби – озима пшениця.



**Рис. 8.15.2. Водостійкість структури дерново-підзолистого легкосуглинистого ґрунту:**

1 – жито; 2 – ліс листяний; 3 – конюшина+тимофіївка 1-го року використання; 4 – конюшина+тимофіївка 2-року використання



**Рис. 8.15.3. Водостійкість структури чорнозему звичайного легкосуглинистого:**

1 – лісосмуга; 2 – люцерна 3-го року; 3 – жито

Уже навесні під цією культурою структурно-агрегатний склад і щільність будови (1,1-1,3 г/см<sup>3</sup> оптимальний діапазон) краща, ніж під іншими культурами. Надалі в міру її розвитку структурно-агрегатний склад продовжує поліпшуватися (крім чорнозему Харківської області), причому дія озимої пшениці дещо уступає дії гною, а щільність будови залишається в оптимальних межах. Кукурудза, цукровий буряк і картопля протягом вегетації також трохи поліпшують структурно-агрегатний склад, але значно менше, ніж озима пшениця. Щільність будови під дією культур до кінця вегетації досягає 1,35 г/см<sup>3</sup>. Під чорним паром перераховані показники гірші, ніж під просапними культурами. Отже, небажано (в аспекті агрофізичних властивостей і режимів, крім не розглянутого тут

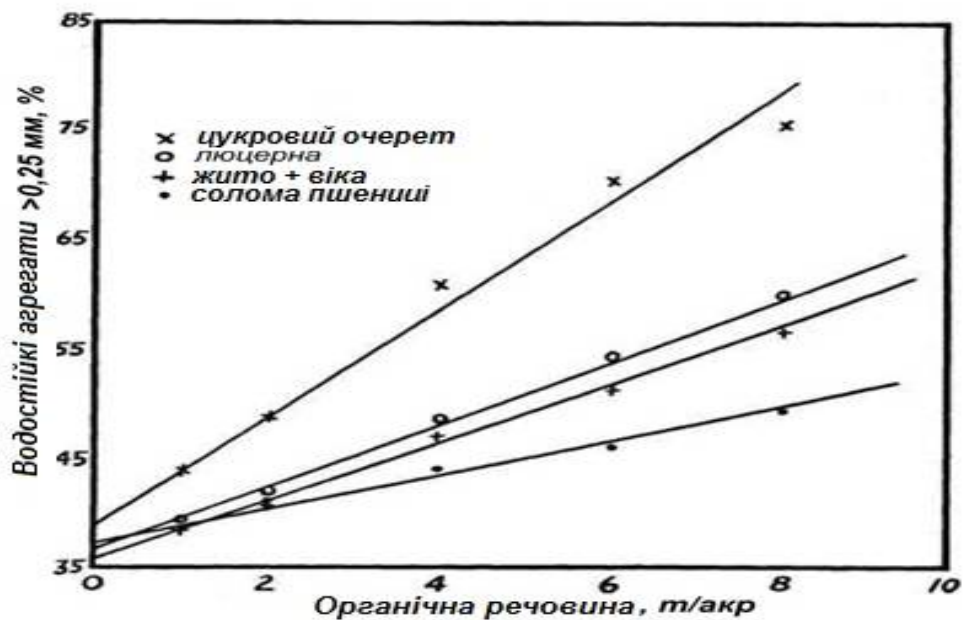


водно-повітряного режиму) чорноземи залишати без рослинності в умовах чорного пару. Відзначене багатьма дослідниками посилення мікробіологічної діяльності (Є.З. Теппер, 1976), очевидно викликає втрати органічної речовини, диспергацію чорноземів і, як наслідок, погіршення їх агрофізичних властивостей і режимів.

Деяке погіршення агрофізичних властивостей ґрунтів під просапними культурами в порівнянні з озимою пшеницею відбувається в результаті використовуваних для їхнього вирощування механічних обробітків, прискореного розкладання органічних речовин, що залишають на полі ці культури. Тому, якщо в сівозміні переважають просапні культури, необхідно усувати їхній несприятливий вплив на фізичні властивості. За даними І.Г. Захарченко й ін. (1963), на підставі багаторічних дослідів на чорноземах встановлено, що за будь-якого насичення сівозмін можна підтримувати постійний вміст гумусу (і, отже, структури й фізичних властивостей), збільшуючи дози органічних добрив.

Вище ми розглянули вплив польової культури на формування ґрунтової структури в процесі її вирощування. Якщо точніше, мова йшла про поєднаний вплив на зміну структури кореневих систем рослин, а також механічних і хімічних технологічних операцій. Проте цікаво вивчити вплив на структуру різних рослин після їх приорювання як сидеральних покривних культур. З огляду на те, що хімічний склад рослин, також як і швидкість їхнього розкладання в ґрунті, досить індивідуальні, можна чекати їхньої різної участі в процесах агрегації. У СРСР подібні дослідження, хоча й були досить популярні, все-таки обмежувалися вивченням впливу рослинного матеріалу на формування кількості і якості органічних речовин. Структурний склад ґрунту при цьому вимірювали рідко. Для демонстрації отриманих результатів скористаємося роботою G.M. Browning et al. (1941). Водостійкість агрегатів (методом Ioder) досліджували після 30-добової експозиції середньосуглинкового ґрунту з 1, 2, 4, 6 і 8 т/акр цукрового очерету, люцерни, жита + вики й соломи

пшениці. Отримані результати оброблені методом регресійного аналізу й представлені на рис. 8.15.4.



**Рис. 8.15.4. Регресійні залежності зміни водостійкості ґрунтової структури від внесення різних органічних матеріалів**

Розраховані при цьому коефіцієнти регресії розглядалися як нормативні параметри збільшення водостійкої структури крупніше 0,25 мм на одиницю рослинного матеріалу. Найбільше збільшення – 4,87 % / т рослинного матеріалу виявилось в цукрового очерету, далі розташувалися люцерна, жито+віка й солома пшениці – відповідно 2,88; 2,44 і 1,48 % / т.

Не можна не відзначити, що між дослідженими показниками спостерігалася прямолінійна залежність (принаймні, у вивченому діапазоні значень), причому найімовірніше вона подібна залежності агрегації від маси корневих залишків (хоча на цей рахунок ми маємо лише побічні докази).

### 8.16. Електроделіорація

Електроделіорація – спосіб деліорації засоленого ґрунту за допомогою електричного току, розроблений під керівництвом О.Ф. Вадюніної на кафедрі фізики й деліорації ґрунтів МГУ.

Електрозондування сьогодні це одночасно й діагностика стану ґрунту й потреби в меліорації за допомогою дослідження її електричних властивостей. Одним з побічних ефектів електромеліорації (а в контексті нашої книги, можливо, більш цікавим) є вплив електричного току на структурний стан ґрунту. За даними О.Ф. Вадюніної (1968), після пропущення постійного електричного току через водонасичений ґрунт і підсихання його формуються міцні структурні окремоті. Спочатку формуються тиксотропні структури, потім зі збільшення щільністю електричних зарядів досить надійною експонентною моделлю. Також важливо, як відзначає автор, що цілинні й орні ґрунти мають різні електричні профілі й стаціонарні електричні поля (СЕП). Правда, параметри СЕП у чорноземах трохи нижчі, ніж у гідроморфних ґрунтах. Легко прогнозувати, що дані систематичного електричного зондування *in situ* у рамках моніторингу можуть бути застосовані з метою обґрунтування електромеліорації ґрунтів. Тим більше, що відповідний прилад, що відповідає сучасним вимогам, для виміру електричних параметрів ґрунтів (опору, електропровідності й потенціалів) розроблений. Це Landmapper-03, здатний проводити виміру в автоматичному режимі, портативний і автономний. Прилад постачений накопичувачем даних. Час виміру 3-4 сек.

У контексті даної книги доречно згадати про новий спосіб очищення забрудненого ґрунту від важких металів. Він заснований на осадженні важких металів, що перебувають у ґрунтовому розчині на катоді або аноді (залежно від знака заряду іона). Експериментальні результати показали, що Zn, Cu, Cr, Cd, Pb можуть бути вилучені зі штучно забрудненого ґрунту легкого гранулометричного складу з ефективністю більше 90%. Ефективність очищення залежить від тривалості обробки. Крім того, на ефективність очищення впливає реакція середовища й локальних умов (відстань від аніонообмінної мембрани й кількість металу, що звільняється різними фракціями ґрунту). Однак електромеліорація є досить дорогим способом (Н.Н. Бушуєв, 2007).

## **8.17. Подолання фізичної деградації в поверхневому прошарку і у профілі ґрунту**

Для зменшення небезпеки прояву негативних наслідків кірки варто використовувати:

- поверхневий обробіток зубовими ґрунтообробними робочими органами (підбір знарядь, число їхніх проходів і інші технологічні прийоми слід уточнювати залежно від міцності кірки);

- гребневий посів, на тлі якого ймовірність утворення кірки зменшується, і, крім того, у цих умовах, навіть якщо формується кірка, її міцнісні параметри такі, що проростки її відносно легко долають;

- намочування насіння перед сівбою, що прискорює їхнє проростання й формування коріння;

- висівання сортів рослин з підвищеною енергією проростання насіння, або підвищеними нормами;

- підтримувати верхній шар ґрунту в стані найменшої вологості (зрозуміло, ця рекомендація здійсненна в умовах зрошення або там, де є можливість агротехнічними засобами підтримати цей рівень зволоження, за якого проростки легко долають кірку);

- пряма сівба і мульчування (помітимо, що при використанні технології нульового обробітку виникнення кірки стає неможливим);

- підсівання трав після збирання врожаю в попередньому році й використання їх для мульчування цього року;

- гіпс, а також меліоранти, що містять сірку, які ефективні у зменшенні ймовірності утворення кірки.

Крім того, ефективними профілактичними прийомами в подоланні кірки служать технології, що передбачають внесення органічних добрив і кальцієвих меліорантів, а в подоланні плужної підшви – періодичний (хоча б один раз за ротацію сівозміни) глибокий чизельний обробіток, бажано за технологією точного землеробства. Останнє, як встановлено

нами, є доцільним, тому що плужна підшва не має суцільного характеру й приурочена до знижень поля або до його країв.

### **8.18. Зниження загрози геоекоаномальних проявів**

Небезпека геоекоаномальних проявів знижується за рахунок виконання першочергових і перспективних заходів. Так, серед останніх для зменшення негативних наслідків вулканічної й неотектонічної діяльності потрібно відповідним чином організувати землеробську територію. Це стосується будівництва державних споруд, особливо таких, як атомні електростанції, курортно-санаторні комплекси й інші, а також при моніторингу земель, ґрунтів і інших природно-господарських об'єктів. Потрібно змінити структуру вгідь. Комплексні ґрунтові обстеження доцільно проводити в масштабі 1:5000 (або 1:1000) один раз в 8-10 років.

Карст, що діють зсуви, мочари, лавини й осипи потрібно враховувати при розміщенні сільськогосподарських угідь, при будівництві житлових і господарських споруджень, шосейних доріг, гідро- і атомних електростанцій, санаторно-курортних комплексів і інших.

Мочари й діючі зсуви – на таких масивах потрібно посадити ліс, на невеликих площах – залужити. Позитивні результати щодо цього дають водозбірні колодязі, свердловини з відводом води, а також закритий дренаж.

Раціональне використання западин і подів з метою землеробського їхнього освоєння неможливо без запобігання водорегулювальної меліорації. Але це прийом необхідно здійснювати з урахуванням можливих негативних змін в екології прилеглих територій.

З метою припинення ерозії соляні куполи доцільно використовувати під деревні посадки. Хімічна меліорація можлива лише на високих позиціях.

### **8.19. Організаційні заходи**

За допомогою згаданих вище заходів попередити, а там, де в цьому є необхідність, і подолати, деградацію ґрунтів цілком можливо. Для цього

необхідні погоджені зусилля державних інститутів і землекористувачів. У простого обивателя може скластися тверде переконання в тім, що наміри держави в цьому напрямку наполегливі й послідовні. Досить лише нагадати, що в Україні за роки незалежності прийняті численні законодавчі ґрунтоохоронні документи. Це й Земельний кодекс, і Закони про охорону, оцінку земель, їхній контроль й раціональне використання. У цій низці особливого згадування заслуговує Закон про плату за користування землею, у якому передбачені джерела ресурсів і порядок їхнього використання винятково з метою підвищення родючості ґрунтів, зрозуміло, включаючи питання подолання деградації. Варто згадати також інші закони (про охорону навколишнього природного середовища, про землеустрій, про науково обґрунтовані сівозміни), Постанови Ради національної безпеки й оборони про стратегію збалансованого землекористування, Постанови Кабінету Міністрів, Мінекології, Мінсільгоспу і продовольства, у яких також згадані питання охорони ґрунтів і їхньої родючості. Наміри й потреби раціонального (бездеградаційного) використання земель України в цілому й окремих її регіонах визначені в загальнодержавних програмах економічного, науково-технічного, соціального, національно-культурного розвитку, інших програмах і схемах розвитку різних галузей економіки. Передбачено, з урахуванням критичного стану ґрунтів і земель сільськогосподарського призначення, здійснення заходів щодо підвищення родючості ґрунтів, зокрема, підвищення рівня застосування добрив до оптимальних норм і співвідношень, проведення хімічної меліорації ґрунтів у науково обґрунтованих обсягах, термінах і дозах, впровадження елементів біологізації землеробства, ресурсо- і енергозберезувальних технологій відтворення родючості ґрунтів і ведення землеробства на сучасній науковій основі.

На цьому досить сприятливому тлі здається дуже нелогічна наявність численних проблем незадовільного стану ґрунтового покриву в країні, у

тому числі на чорноземах, які по праву є гордістю країни, основою її сьогоденного й майбутнього добробуту. Причини такого положення досить добре відомі (Національна доповідь..., 2010; Стратегія збалансованого розвитку, відтворення й управління ґрунтовими ресурсами, 2012). Залишається лише перелічити організаційні заходи, які здаються нам необхідними:

- прийняти, нарешті, Верховною радою країни Національну програму охорони ґрунтів і їхньої родючості. Для України, де в ґрунтовому покриві поширені й поступово підсилюються різноманітні ґрунтово-деградаційні процеси, має стати правилом приймати, підтримувати й жорстко контролювати довго – і короткострокові, першочергові й перспективні (на додаток і розвиток національної програми) регіональні, обласні, районні програми, програми в кожному сільськогосподарському підприємстві – з метою збереження й відродження унікального ґрунтового покриву країни;

- у програмі варто визнати, що не тільки криза і явно невдала земельна реформа, у якій не нашлося й слова в підтримку родючості ґрунтів, але й невміння влади оптимізувати взаємини в аграрному комплексі послужили причиною численних недоліків – технологічних, організаційних, соціальних, економічних, екологічних. Адже закони про охорону земель існують, але не виконуються, раціональні технології розроблені, але не впроваджені, зразкові господарства існують майже в кожній області, але їхня кількість не збільшується, методи ефективного господарювання в умовах посухи, перезволоження, кислих або лужних ґрунтів відомі, а меліоративні системи закинуті. У сільському господарстві величезна кількість проблем, аграрна сфера поступово руйнується й взагалі зникає, а держава замість використання термінових мір пасивно спостерігає;

- в умовах приватної власності на землю значно зростає роль суспільної підтримки, що забезпечується за рахунок участі організацій,

союзів, засобів масової інформації.

У країні необхідно орієнтувати зусилля органів державної й місцевої влади, а також власників землі й землекористувачів на охорону земель, підвищення культури землеробства, якості еколого-виховної роботи, впровадження заходів щодо меліорації ґрунтів, виконання протиерозійних, агротехнічних, культуртехнічних заходів, створення полезахисних лісосмуг;

– екологічно й економічно стійке землекористування й науки (землеробство, землеустрій, ґрунтознавство, агрохімія, меліорація й інші), які сприяють його ефективному розвитку, найближчим часом повинні реально стати стратегічним напрямком розвитку АПК України. У програмі обов'язково потрібно звернути увагу на всіляке сприяння науковому забезпеченню аграрного комплексу. У такій же мірі це ж стосується й підготовки кадрів для села з урахуванням сучасних значно підвищених вимог, кадрів, здатних ефективно працювати в нових ринкових умовах;

– у програмі передбачити організацію на сучасному методологічному рівні моніторингу ґрунтового покриву для одержання об'єктивної оцінки його стану, у тому числі деградованих і мало продуктивних ґрунтів з метою об'єктивізації вирішення всіх наступних питань їхнього використання й охорони;

- у програмі передбачити як першочергове завдання відновлення картографічних і аналітичних матеріалів про ґрунтовий покрив країни, створення й підтримку відповідної інформаційної бази даних із залученням до неї всіх наявних матеріалів;

- передбачити в програмі підтримку дослідження й впровадження нових ґрунтоохоронних технологій, адаптованих до ґрунтово-кліматичних і господарських особливостей країни й спрямованих на збалансований розвиток ґрунтів і зменшення проявів деградації - мінімальних, підтримувальних, консервативних, нульових і інших технологій, а також нових ґрунтоохоронних технічних засобів;



- передбачити в програмі надання землекористувачам субсидій, пільгових банківських кредитів і інших пільг для впровадження ґрунтоохоронних технологій;

- викоринити раз і назавжди сформовану практику щорічного скасування Верховною радою нецільового використання коштів, зібраних відповідно до Закону про плату за землю для підвищення родючості ґрунтів, що фактично побічно сприяє поступовому розвитку деградаційних процесів у ґрунтах, зниженню їх потенційної й фактичної продуктивності. Переглянути в Законі ставки податків і привести їх у відповідність із об'єктивною оцінкою (бонітетом) ґрунтів, наявністю й станом деградованих і малопродуктивних земель. При оподатковуванні врахувати витрати, раніше понесені землекористувачем на підвищення родючості ґрунтів;

- передбачити в програмі контроль і механізми дотримання землекористувачем ґрунтоохоронних законів, аж до позбавлення права власності на земельну ділянку у випадку їхнього постійного ігнорування;

- передбачити в програмі компенсацію землекористувачеві за невикористання (або часткове використання) їм деградованих і малопродуктивних земель (якщо буде потреба їхньої консервації). Із цією метою розробити регіональні нормативи оцінки (бонітування) деградованих і малопродуктивних земель, що підлягають виведенню з ріллі;

- передбачити в програмі формування спеціального фонду підтримки землекористувачів, які ведуть сільськогосподарське виробництво на землях гіршої якості – деградованих і малопродуктивних землях;

– у випадку скасування мораторію на купівлю/продаж земель сільськогосподарського призначення передбачити спеціальний порядок оцінки деградованих і малопродуктивних земель. Обов'язково врахувати в ціні таких земель не тільки їх продуктивні, але й екологічні функції.

## 8.20. Проекти нових антидеградаційних стандартів і агровимог

Викладені в інформаційній довідці результати досліджень дозволили обґрунтувати (на додаток до чинних) деякі нові стандарти й агровимоги, що обмежують механічне завантаження на ґрунт, що знижують імовірність прояву деградації ґрунтів і оптимізують умови росту й розвитку надземної й підземної частин рослин:

– норматив сумарного припустимого тиску машинно-тракторного агрегату на ґрунт протягом вегетаційного періоду, включаючи передпосівний обробіток ґрунту, сівбу, внесення добрив, догляд за рослинами й збір урожаю;

– кут атаки й число робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь, які створюватимуть в процесі обробітку контактний тиск на ґрунт, що відповідає механічним властивостям агрегатів агрономічно корисного розміру – структурної зв'язності, міцності, зчепленню й опору зрушенню;

– норматив, що визначає зусилля, з яким робочий орган ґрунтообробного знаряддя впливає на ґрунт, не повинен перевищувати опору ґрунту кришення за обробітку ґрунту у фізично спілому стані;

– норматив, що визначає зусилля, з яким ґрунтозачіпних ходових систем будь-яких МТА, або робочий орган ґрунтообробного знаряддя, що впливає на ґрунт, не повинен перевищувати опору ґрунту зминанню й роздавлюванню;

– регіональні діапазони вологості ґрунтів (з урахуванням їх типу й гранулометричного складу), що забезпечують умови оптимального кришення й гарантують мінімальні витрати ресурсів на обробіток ґрунтів;

– регіональні параметри щільності будови у піднасіненному прошарку (з урахуванням вимог культури, що висівається), що встановлюють необхідність його розуцільнення;

– регіональні параметри твердості ґрунтів у плужній підошві, що встановлюють необхідність її розпушування;

– міцнісні параметри кірки, що визначають вибір агрегату для її

руйнування;

– структурний склад (оптимальне співвідношення агрегатів агрономічно корисного розміру) у насіннєвому прошарку для прискорення проростання насіння і поглиблення корневих систем рослин;

– регіональні параметри оптимальної щільності будови посівного шару з урахуванням типу ґрунтів, їх гранулометричного складу й вимог рослин.

### **8.21. Екологічний імператив**

Екологічний імператив стосовно ґрунту означає систему поглядів, відповідно до яких дбайливе і турботливе відношення до ґрунту стає внутрішньою потребою, основою високоморальної і етичної поведінки. У діяльності людини, що має відношення до ґрунту, повинні бути виключені будь-які дії, що шкодять йому. Це стосується фермера, керівника, і тим більше вченого, що розробляє рекомендації з використання ґрунту. Ці люди повинні добровільно керуватися системою заборон і обмежень, не переступати граничні норми, здатні послабити функціонування ґрунту і привести його до необоротних змін. У багатьох учених особливо молодого покоління, розрахунок відверненого екологічного збитку (наприклад, на тлі застосування протиерозійних заходів) вважається істотним внеском в екологічну ефективність). Зрозуміло, це важлива оцінка, але вона лише частково відповідає екологічному імперативу. Останній вимагає, щоб екологічній оцінці завжди віддавали перевагу, така оцінка є своєрідним параметром оптимізації, заради якого варто підкорити всі свої дії. Саме ця оцінка повинна стати провідною, тому що вона сприяє стійкості ґрунту як тіла природи, відповідального за стійку продуктивну, екологічну і соціальну функції.

Особливо важливе розуміння екологічного імперативу для політичних лідерів, від дій яких часто залежать долі ґрунтів і людей, що проживають на них. Жаль, але в діячів, причетних до земельної реформи, явно були відсутні уявлення про екологічний імператив. Взяло гору

бажання швидко одержати ефект на шкоду родючості ґрунтів. Головний прорахунок ініціаторів земельної реформи був у тім, що введення ринкових відносин в агросферу не було погоджено з економічним рівнем держави і технологічним рівнем тодішнього села. У результаті баланс між екологічною свідомістю і економічним прагненням був порушений.

«Ґрунт - парабіотичне (майже живе) тіло». Ці надиво точні слова О.Н. Соколовського, насамперед, означають необхідність ставлення до ґрунту як живому тілу. Часто, на жаль, дуже часто, господарська діяльність людини вступає в протиріччя із принципами екологічного імперативу. Лише екологічно вірна свідомість, тобто, розуміння закономірностей розвитку ґрунтів повинна зупинити непомірне бажання землекористувача домогтися високого результату за рахунок майбутнього добробуту ґрунту. На закони природи необхідно зважати. Використовувати ґрунт можна лише так, щоб не порушити його здатність підтримувати свої характерні (модальні) характеристики. Всі випадки необоротних змін ґрунтів, пов'язані з погіршенням властивостей і режимів, є результатом порушення екологічного імперативу.

Наслідком недотримання екологічного імперативу служать численні негативні прояви в орному ґрунті, що приводять до його деградації. Прикладів тому в давній і сучасній історії маса. Основна їхня причина - антропогенна діяльність. І якщо за давніх часів вторинне засолення зрошуваних ґрунтів Близького Сходу, або спустелення пасовищ Північної Африки внаслідок надмірного випасу пояснювалося незнанням механізмів цих явищ, то сьогодні з деградацією ґрунтів миритися не можна. Адже наука досить детально прояснила її причини, типи, поширення, способи усунення.

Наслідкування екологічному імперативу повинно стати усвідомленим вибором землекористувача.

Не можна допускати однобічних оцінок агрозаходів, коли навіть незначне збільшення урожаю на тлі зниження умісту гумусу і погіршення

фізичних властивостей, служить підставою для рекомендації виробництву.

Не можна постійно недооцінювати надзвичайно високу ґрунтопокрощувальну роль нульового обробітку тільки тому, що в перші роки він не дає збільшення врожаю.

Не можна постійно ігнорувати в рекомендаціях про внесення мінеральних добрив їхню можливу міграцію в нижні горизонти, а потім у ґрунтові води, і не вивчати це питання.

Не можна в рекомендаціях із запобігання ерозії ґрунтів не проводити конкретних вимірів твердого і рідкого стоку, як це вважається майже правилом у відповідних дослідженнях нашої дослідної мережі.

Не можна широко впроваджувати систему обробітку ґрунтів на основі плугу, що приводить до формування переущільненого піднасінного прошарку, плужної подошви і знеструктурення.

Не можна зневажати прогноною оцінкою подальшої еволюції ґрунтів при застосуванні різних систем їх використання в дослідях, тривалість яких перевищує 50 років. Адже це унікальні об'єкти для оцінки екологічного імперативу.

Ці приклади показують, що екологічний імператив ще не став нормою. Їм у достатній мірі не опанували ні вчені, ні землекористувачі. У наукових програмах академій не знайти відповідних позицій. А вони зовсім не перешкодили б. Наприклад, надто важливо визначити граничні механічні і хімічні навантаження на ґрунти з урахуванням їхніх регіональних особливостей. Або заходи меліоративного впливу, що сприяють підтримці модального статусу ґрунту. Або, установити, як допомогти ґрунту протистояти непомірним навантаженням, або адаптувати його до можливих кліматичних флуктуацій.

Екологічний імператив повинен стати турботою хліборобів. Наука доводить, що можна одержати високий врожай і не тільки не допустити падіння родючості ґрунту, а й навпаки примножить її. Не можна тільки одного - жити за рахунок ґрунту, бути його боржником. Для цього країні

вкрай потрібна програма збереження родючості ґрунту, яка повинна стати національною, пріоритетною. Ґрунт як незамінний і безмовний годувальник заслуговує на це.

Основним недоліком сучасного землеробства є його занадто узагальнений зміст, що відповідає умовам природної зони (тому така система й одержала назву зональної) і ігнорує просторові особливості конкретного поля сівозміни.

Так, зональну систему землеробства в Поліссі можна назвати найбільш інтенсивною. Дерново-підзолисті ґрунти, що переважають в цій зоні, мають кислу реакцію ґрунтового розчину, піщаний і супіщаний грансклад, після обробітку дуже швидко відновлюють свою підвищену вихідну щільність, через швидке наростання температур навесні легко утворюють поверхневу кірку. Внаслідок підвищеної кількості атмосферних опадів, наявності знижень у рельєфі й нерідко ущільнених ілювіальних горизонтів, що неглибоко залягають, мають ознаки оглеєння. Крім того, для ґрунтів Полісся характерна недостатня забезпеченість елементами живлення. Саме внаслідок перерахованих особливостей система землеробства в цій зоні вимагає численних обробіток, унесення добрив і вапна. Однак це загальна схема. Як ми показали на прикладі декількох полів, їх морфологічних, фізичних і фізико-хімічних властивостей їхніх ґрунтів цей універсальний підхід на основі усереднених зональних характеристик вимагає ґрунтовних коректив практично відносно всіх компонентів системи землеробства.

Так само і відносно ґрунтів Лісостепу. Домінуючі в ґрунтовому покриві цієї зони чорноземи типові, реградовані, опідзолені і темно-сірі ґрунти середньо- і важкосуглинкового гранскладу, добре оструктурені і гумусовані, помірно ущільнені, в основному забезпечені елементами живлення, мають близьку до оптимальної реакцію середовища. Разом з тим вони характеризуються слабкою водостійкістю, нерідко переущільнені в плужній підшві і у піднасінневому прошарку після весняного циклу

обробітків, схильні до утворення брил, кірки і тріщин. Причому недоліки цих ґрунтів проявляються не на всьому полі, а приурочені до його країв або знижень. Для ґрунтів Лісостепу характерні процеси дегуміфікації і втрати кальцію, внаслідок чого ґрунти схильні до знеструктурування і підкислення, причому знов-таки ці процеси не мають суцільного характеру, а проявляються лише в окремих частинах поля.

Ґрунтовий покрив в Степу не менш неоднорідний, морфологічні, фізичні і фізико-хімічні властивості ґрунтів полів варіюють у просторі, що робить цілком актуальною проблему диференціації систем землеробства у межах поля і у цій зоні.

Позначене вище має винятково велике значення для диференціювання агротехнологій відповідно до реальних параметрів ґрунтів поля. Якби властивості поля - саме ті, що визначають зміст агротехнологій (щільність будови, вміст поживних елементів і інші), не мали вираженої строкатості, можна було б зневажити строкатість і обробляти поле, і вносити добрива однаково на всьому його просторі. На жаль, це не відповідає дійсності. Накопичується усе більше даних про неоднорідність полів незалежно від генезису й рівня окультуреності ґрунтів. Неоднорідність проявляється навіть у полі, де протягом майже 150 років застосовували елементи високої культури землеробства (R.J. Godwin). Це дає підстави говорити про неоднорідність як про властивість, що іманентно (обов'язково) властива ґрунтовому покриву.

В Україні у ріллю залучено значні площі ґрунтів, які в силу своїх природних або придбаних унаслідок неякісного використання властивостей знижують ефективність землекористування. Нам представляється, що наука здобула переконливі докази того, щоб почати негайно виправляти сформоване положення. Економічне високотехнологічне (інтенсивне) господарювання на доброякісних землях - от кардинальний шлях подальшого розвитку сільськогосподарського виробництва України. Одночасне скорочення ріллі надає ще одну не менш

(а може й більш) важливу можливість - поліпшити стан і цінність агросфери країни за рахунок її біорізноманіття. Взагалі, збільшення розмаїтості в ландшафті, як відомо, підвищує його стійкість, підсилює естетичну привабливість і екологічну цінність. Тоді як домінування ріллі в агроландшафті всі ці його якості істотно погіршує. Безумовно, пшеничне поле, що дозріває, або поле квітучого соняшника створює незабутнє враження - родючості, сили поля, упредметненої праці хлібороба, нарешті, його благополуччя, благополуччя його родини, могутності країни. Але все це не більш ніж емоціональні зовнішні атрибути, що мають мало спільного із дійсною цінністю ґрунту як тіла природи.

В останні десятиліття у світі поступово утверджується нове розуміння ґрунту як найважливішого екологічного ресурсу. Продуктивні (раніше загально прийняті й зрозумілі) функції ґрунту доповнено екологічними функціями, згідно яких ґрунт активно регулює водний, повітряний, тепловий режими всіх суміжних з нею середовищ - приземного шару атмосфери й ґрунтоутворюючої породи, впливає на обмін речовин і енергії, служить середовищем для величезної кількості різних організмів. Словом, виконує цілий ряд життєво важливих функцій, від яких залежить стан агросфери, здоров'я і благополуччя людини, в остаточному підсумку. Тепер уже добре відомо, що якщо частка орних угідь перевищує 40%, ґрунт не в змозі повноцінно виконувати екологічні функції. Виникає незбалансованість в агроландшафті, що сприяє зниженню його стійкості, ерозійним процесам, різноманітним деградаціям.

Тому й в агронома, і в інженера-механіка повинно бути загальне й однаково важливе завдання - обробляти тільки найбільш для цього придатні земельні ділянки й не обробляти ті, де є сумніви відносно їх якості й де є загроза потерпіти економічну або (що ще гірше) екологічну невдачу. Якщо ж придатних земель мало, повинне діяти непорушне правило: чим менше придатних земель, тим вище повинен бути рівень інтенсифікації культури землеробства на придатних землях. В Україні, де



цілком достатньо якісних земель, не повинно бути взагалі екстенсивного використання землі.

Сьогодні у світі зароджується новий напрямок у землеробстві. Фактично це нова стратегія менеджменту, заснована на застосуванні принципово нових засобів контролю стану ґрунтів перед обробіткою, інформації про вимоги польових культур до параметрів кореневмісного шару й використанні «розумних» технічних засобів для обробітки ґрунтів (intelligencemachines), здатних сприймати директиви в картографічній формі й виконувати дії на полі відповідно до них. У зв'язку із цим одержали розвиток роботи, спрямовані на встановлення оптимальних параметрів і моделей ґрунтів для конкретних культур, розробки наземних і дистанційних засобів контролю властивостей ґрунтів у режимі on-line, безпілотні роботизовані механізми. Якщо донедавна ознакою високої культури землеробства була якісна оранка й очищене від бур'янів поле, то тепер часте використання глибокої оранки, витратного й не дуже ефективного прийому з окультурення ґрунтів, інших численних проходів переважно важкої техніки по полю не може вважатися ознакою високої культури землеробства. Саме навпаки, ґрунтозберезувальні технології, мінімізація механічного й хімічного впливу на ґрунт у більшій мірі відповідають високій культурі, тому що тут проявляється турбота про ґрунт, а не бездумне руйнування її основи - агрономічно корисної структури. Для реалізації принципів високої культури землеробства у виробництві потрібно прийняти й неухильно виконувати агротехнологічні, технічні й організаційні нормативи.

В останні роки формується альтернатива деградаційним процесам, поступово утверджуються принципово нові підходи до агротехнологій. Основний їхній напрямок - мінімізація механічного й хімічного впливу на ґрунт аж до повної відмови від проведення більшості прийомів, якщо властивості ґрунтів наближені до вимог вирощуваних рослин. Кількість проходів техніки істотно зменшується: уже давно щорічно не здійснюється

оранка, глибоке приорування гною з таким же результатом заміняється рослинними залишками, мінеральні добрива й засоби захисту вносяться в ґрунт одночасно із сівбою, є можливість повністю відмовитися від міжрядних розпушувачів, і навіть бур'яни можна ефективно видалити з поля без обробітки, якщо підтримувати постійний рослинний покрив на поверхні ґрунту, як це передбачено нульовою технологією.

Цей розділ хочемо закінчити цитатою з праці В.В. Докучаєва “Наши степи прежде и теперь”: “Чорнозем, навіть коли він має найкращу статуру і є обдарованим високими природними якостями, але, через поганий догляд, неправильне живлення, непомірну працю, його сили надірвано, виснажено, він уже не в змозі правильно працювати, на нього не можна покластися, він може сильно постраждати від найменшої випадковості, що за іншого, більш нормального стану він легко б переніс, у будь-якому разі, істотно не постраждав би і швидко виправився. Обов'язок землекористувача - допомогти хворому чорнозему як це завжди допомагають хворій людині».

## **8.22. Моніторинг деградаційних фізичних процесів (кризовий моніторинг)**

Під кризовим моніторингом ґрунтів варто мати на увазі систему оцінок стану ґрунту, у якого істотно порушені екологічні і продуктивні функції (у порівнянні з досягнутим середньобагаторічним рівнем) і який перейшов на деградаційний шлях розвитку.

Такими оцінками можуть бути:

- критерії, що характеризують гранично припустимий рівень змін властивостей ґрунту (фізичних, хімічних, фізико-хімічних, мікробіологічних) під дією антропогенного навантаження;
- критерії, що характеризують гранично припустимий рівень антропогенного навантаження (механічного, хімічного, меліоративного й іншого типів);
- критерії, що характеризують рівень максимальної стійкості ґрунту, тобто його здатність до оборотних змін або його потенціал

фізичної, хімічної, фізико-хімічної і біологічної буферності.

Звичайно, конкретизувати з необхідною повнотою кількісну сторону взаємин між антропогенним навантаженням і властивостями ґрунтів на даному етапі розвитку ґрунтознавства досить важко, тому що багато питань цієї взаємодії ще не розкрито. Це стосується всіх трьох груп показників і особливо показників, що характеризують стійкість ґрунтів. Разом з тим багато чого вже відомо. Так, є різноманітні відомості про гранично припустимі концентрації забрудників у ґрунтах, про узагальнені норми припустимого впливу сільськогосподарської техніки на ґрунт, про цілу низку меліоративних показників і насамперед критичні рівні ґрунтових вод, припустимі рівні і якість засолення, вимоги до поливної води, що практично не викликають несприятливих змін ґрунтів. Якщо до цих відомостей додати численні матеріали про умови, за яких можливі або неможливі різні прояви ґрунтових деградацій – вітрова і водна ерозії, дегуміфікація, забруднення і інші, а також не менш численні матеріали про вимоги культурних рослин до параметрів ґрунту, які можуть скласти основу еталонів порівняння, то здається цілком коректною і реальною позначена постановка даної проблеми.

Актуальність розвитку кризового моніторингу у зв'язку з погіршенням стану ґрунтів і необхідністю призупинення їхньої деградації останнім часом істотно зросла. Сьогодні стає зовсім ясним завдання термінової організації ведення моніторингу на ділянках, що досягли критичного стану. Уже як тільки суцільний моніторинг у силу значних витрат в Україні навряд чи можливий, то потрібно здійснити хоча б його усічений варіант. До речі, у багатьох європейських країнах моніторинг здійснюється в так званих гарячих плямах (hot spots), де стан ґрунтів оцінюється як кризовий. Методика його така. На підставі прямих або непрямих попередніх оцінок оконтурюють можливу кризову зону і налагоджують ретельний контроль параметрів, які вносять найбільший вклад у погіршення стану території. Саме так ведуть спостереження за

станом ґрунтів, забруднених важкими металами або радіонуклідами поблизу джерел забруднення. Переваги такого підходу очевидні: локальний контроль ситуації, мінімізація витрат на одержання інформації і наступних витрат на виправлення ситуації. На жаль, також очевидні і недоліки: неможливість контролю ситуації в повному обсязі і обмежені можливості для її прогнозування. Ефективність концепції кризового моніторингу може бути підвищена, якщо будуть використані коректні дані про еталони порівняння, стосовно яких удасться об'єктивно діагностувати стан ґрунтів, а також будуть установлені з урахуванням регіональних природних і господарських особливостей граничні навантаження на ґрунт.

Угорщина може бути прикладом цілеспрямованих робіт з упорядкування, обробки й картографування матеріалів з метою виявлення проблемних територій (G. Varallaya, 1993,1994).

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Мінімізація технологій обробітку
2. Новітні ґрунтозахисні (антидеградаційні) технології
3. Конструювання ґрунтофільних знарядь обробітку
4. Підтримка бездефіцитного балансу органічної речовини
5. Мульчування рослинними залишками і пластичними матеріалами
6. Шляхи удосконалювання асортименту і технології внесення мінеральних добрив
7. Хімічна меліорація, агролісомеліорація, фітомеліорація
8. Структурна (технічна) меліорація та штучне оструктурування
9. Подолання фізичної деградації в поверхневому прошарку і у профілі ґрунту
10. Моніторинг деградаційних фізичних процесів (кризовий моніторинг)

## **ЧАСТИНА 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ**

### **РОЗДІЛ 1. ВІДБІР І ПІДГОТОВКА ЗРАЗКІВ ҐРУНТУ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.**

Після морфологічного опису профілю та визначення класифікаційної приналежності ґрунту на стінці розрізу намічають глибини, з яких мають бути відібрані зразки ґрунту для лабораторних досліджень. Глибина відбору зразків і їх кількість визначаються метою подальших досліджень. Зразки відбирають з кожного генетичного горизонту, включаючи материнську породу. Послідовність відбору – від нижніх до верхніх горизонтів.

При відборі захоплюють середню найтипівішу частину горизонту. В орних ґрунтах зразок відбирають з орного та підорного шарів, якщо глибина генетичного горизонту перевищує орний шар. На 1000 га обстежуваної площі залежно від категорії складності місцевості (II-V) при масштабі обстеження 1:10000 відбирають зразки відповідно з 12, 18, 24 та 30 розрізів. На цілинних ґрунтах додатково відбирають зразки лісової підстилки та степової повстини. Перед взяттям зразка заповнюють етикетку, на якій зазначають область, район, господарство (лісництво), сівозміну, номер поля (квартал), назву генетичного горизонту, глибину відбору, дату та ставиться підпис дослідника. Зразки зручно відколупати долотом чи ножем, щоразу захоплюючи шар близько 5 см.

Кількість точок, з яких відбирають зразки, визначається рівнем точності досліджень з урахуванням мінливості показників властивостей ґрунтів чи вимог статистичних методів обробки результатів. Зразки відбирають у мішечки з тканини. Одну етикетку кладуть у мішечок, а другу прив'язують шнуром назовні. Упаковані та обв'язані шпагатом зразки вкладають у ящики, зручні для транспортування. Для вивчення структури ґрунту зразки відбирають у непорушеному стані в металеві, дерев'яні або пласмасові

коробки. Після відбору зразків розріз закопують. При закопуванні спочатку зсипають нижні, а потім верхні горизонти профілю.

Більшість аналізів ґрунту проводять у повітряносухих зразках. Тому щойно відібраний у полі зразок переносять в окреме чисте і сухе приміщення, очищають від коріння та інших органічних решток і включень. При наявності великих грудок і брил їх розламають руками до грудочок діаметром 3-5 мм. Очищений зразок розстиляють тонким шаром на папері і висушують 10-14 днів.

З висушеного зразка ґрунту беруть середню пробу. Для цього ґрунт ретельно перемішують, розсипають і формують на папері у вигляді квадрата або прямокутника й ділять по діагоналях на чотири рівні частини. Дві протилежні частини висипають у картонну коробку, а дві інші змішують. Операцію повторюють доки маса середньої проби не становитиме 300-400 г. Ґрунт, що не увійшов до середньої проби, зберігають нерозтертим.

Середню пробу ділять на три частини. Для цього ґрунт ретельно перемішують і розсипають рівним шаром на папері у вигляді прямокутника, ділять вертикальними і горизонтальними лініями на невеликі квадрати розміром 3x3 або 4x4 см і з кожного квадрата беруть шпателем невелику кількість ґрунту, яку зсипають в одну пробу з таким розрахунком, щоб маса її була близько 5-10 г.

З відібраної таким способом проби ретельно відбирають корінці (за допомогою пінцета і лупи). Далі ґрунт розтирають в агатовій ступці і просівають крізь сито з отворами діаметром 0,25 мм. Одержану пробу зберігають у паперовому пакеті. З неї беруть наважку для визначення гумусу і загального азоту, фосфору та калію.

Аналогічно відбирають середню пробу для визначення гранулометричного складу ґрунту, маса її становить 30-40 г. Цю частину ґрунту невеликими порціями потрібно розтерти у фарфоровій ступці товкачиком з гумовим наконечником, просіяти крізь сито з отворами діаметром 1 мм і зберігати у

паперовому пакеті. Решту зразка ґрунту (250-350 г) підготувати таким же способом і зберігати у склянці з притертою пробкою. З цієї частини зразка беруть наважки для інших лабораторних

## **РОЗДІЛ 2. ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД ҐРУНТУ**

### **2.1. Діагностика ґрунтів за гранулометричним складом**

При дослідженні ґрунтів у польових умовах гранулометричний склад визначають за зовнішніми ознаками і на дотик у сухому та вологому стані (табл. 37).

“Сухий метод”, коли суху грудку дрібнозему випробовують на дотик, тобто кладуть на долоню і ретельно розтирають пальцями. Чим більша частина його втирається у шкіру, тим він важчий за гранулометричним складом. “Мокрий метод”, коли зразок ґрунту (3-4 г) змочують до тістоподібного стану, при якому він має найбільшу пластичність. Вода при цьому з ґрунту не відтискується. Добре розім’ятий і перемішаний у руках ґрунт розкачують на долоні в шнур товщиною близько 3 мм, з якого потім роблять кільце навкруг пальця діаметром до 3 см. Залежно від гранулометричного складу ґрунту шнур при розкачуванні набуде різного вигляду. Мокрий польовий метод, якщо його ретельно застосувати, дає результати, близькі до лабораторного аналізу.

### **2.2. Гранулометричний аналіз ґрунту**

Кількісне визначення в ґрунті вмісту механічних елементів називають *гранулометричним аналізом*. Більшість методів визначення гранулометричного складу ґрунтується на законах падіння твердих часток та відстоювання їх у спокійній воді за певний час. Якщо збовтати в циліндрі ґрунтову суспензію, то в міру відстоювання у воді частки ґрунту розподіляються відповідно до їх розміру: дрібні частки тривалий час залишаються у скаламученому стані, а великі будуть осідати на дні.

Швидкість падіння ґрунтових часток у рідкому середовищі прямо пропорційна квадратові їх радіуса. Для визначення розмірів часток на основі швидкості падіння користуються формулою Стокса:

$$V = \frac{2}{9} \cdot R^2 \cdot \frac{D - d}{\eta} \cdot g,$$

де  $V$  – швидкість падіння часток, см/с;  $R$  – радіус часток, см;  $D$  – питома вага частки;  $d$  – питома вага рідкого середовища;  $\eta$  – в'язкість рідини;  $g$  – прискорення сили тяжіння.

Таблиця 37

### Органолептичні ознаки гранулометричного складу ґрунту

Гранулометричний склад ґрунту	Стан сухого зразка	Відчуття при розтиранні сухого зразка	Відношення до скачування в шнур
Піщаний	Сипучий	Майже виключно складається з піску	Шнур не утворюється
Супіщаний	Грудки нетривкі, легко розпадаються	Переважають піщані частки. Глинисті частки у вигляді домішок	Зачатки шнура
Легкосуглинковий	Грудки розламуються при невеликому зусиллі	Переважають піщані частки. Глинистих часток 20-30%	Шнур подрібнюється при розкачуванні
Середньосуглинковий	Грудки розламуються важко	Піщані частки ще добре розпізнаються. Глинистих часток майже половина	Шнур суцільний, кільце розпадається при згинанні
Важкосуглинковий	Грудки неможливо розламати рукою	Піщаних часток майже немає. Переважають глинисті частки	Шнур суцільний, кільце тріскається
Глинистий	Грудки тверді, від удару молотка не розбиваються	Піщаних часток немає. Тонка однорідна маса важко розтирається у порошок	Шнур суцільний, кільце не тріскається

Оскільки у більшості випадків механічні елементи, особливо дрібні, у вільному стані зустрічаються лише у піщаних ґрунтах, а в суглинкових та глинистих вони об'єднані в агрегати і структурні окремість, то для



кількісного визначення елементарних часток різного розміру спочатку треба зруйнувати агрегати. Для цього застосовують механічний вплив та хімічну обробку ґрунту: розтирання, кип'ятіння з водою, обробку слабкими розчинами кислот, руйнування карбонатів та витіснення увібраних катіонів кальцію і магнію, диспергування розчином гідроксиду натрію тощо.

Отже гранулометричний аналіз складається з двох частин: підготовки ґрунту до аналізу і виділення окремих фракцій з визначенням їх відносного вмісту.

### **2.2.1. Підготовка ґрунту до гранулометричного аналізу**

**(за Н.А. Качинським)**

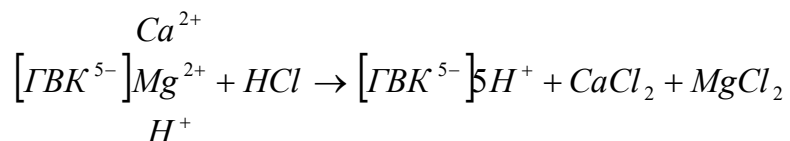
*Основна мета* підготовки ґрунту до аналізу полягає у попередньому руйнуванні ґрунтових агрегатів. Для цього його розтирають у фарфоровій ступці товкачиком з гумовим наконечником і просівають крізь сито з діаметром отворів 1 мм. Скелетну частину, яка залишилася після просіювання на ситі, відмивають від глинистих часток, висушують, зважують і розраховують у відсотках від загальної маси сухого ґрунту. Далі приступають до хімічної підготовки згідно з методикою Н.А. Качинського. Вона залежить від наявності в ґрунті карбонатів кальцію та магнію, тому роблять пробу на присутність карбонатів. На ґрунт капають 10%-м розчином соляної кислоти: якщо він скипає і виділяються бульбочки  $\text{CO}_2$ , то спочатку треба розкласти карбонати.

#### **Підготовка безкарбонатного ґрунту**

Наважку ґрунту 10 або 20 г висипають у фарфорову чашку (чим легший гранулометричний склад ґрунту, тим більшу наважку треба брати) і порціями приливають туди з мірної колби на 200 мл 0,05 н соляну кислоту, помішуючи скляною паличкою з гумовим наконечником, даючи можливість ґрунту осісти на дно; після цього суспензію фільтрують крізь

простий змочений дистильованою водою фільтр середньої щільності в колбу, відкалібровану до об'єму 300 мл. Останню порцію кислоти разом з ґрунтом переносять на фільтр і промивають дистильованою водою до риски 300 мл, недопускаючи появи каламуті.

При цьому відбувається реакція за таким рівнянням:



Якщо в колбі з'явилася каламуть, що свідчить про проходження колоїдів крізь фільтр, промивання припиняють. Промивних вод разом з фільтратом повинно бути рівно 300 мл. Фільтрат ретельно перемішують і використовують для визначення втрат від обробки ґрунту соляною кислотою і суми увібраних основ. Величина втрат від обробки соляною кислотою має самостійне значення. Вона характеризує наявність у ґрунті легкокорозинних солей і карбонатів.

Піпеткою відбирають 50 мл фільтрату і переносять його у заздалегідь зважену фарфорову чашку, ставлять на водяну баню, випаровують, висушують у сушильній шафі 2 години, охолоджують в ексікаторі і зважують на аналітичних терезах.

Розрахунки проводять за формулою:

$$B_{HCl} = \frac{6 \cdot P \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P_1},$$

де  $B_{HCl}$  – втрати від обробки соляною кислотою, %;  $P$  – маса сухого залишку, г; 6 – коефіцієнт для перерахунку на весь об'єм фільтрату (300: 50=6); 100 – для перерахунку у відсотки;  $K_{H_2O}$  – коефіцієнт гігроскопічності;  $P_1$  – маса повітряносухого ґрунту, взятого для аналізу, г.

Для визначення суми увібраних основ піпеткою відбирають дві порції фільтрату по 50 мл у колби на 100 мл і відтитрують 0,1 н розчином NaOH з індикатором фенолфталеїном (2 краплі) до блідо-рожевого забарвлення.

Кількість увібраних основ у наважці ґрунту визначають за формулою:

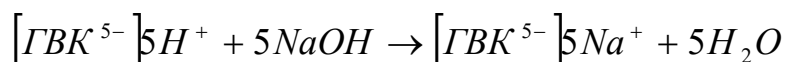
$$S_{\text{мг-екв}} = 10 - 6a \cdot 0,1 \cdot K_{\text{NaOH}},$$

де  $a$  – кількість мл 0,1 н NaOH затраченого на титрування 50 мл фільтрату (середнє з двох повторень);  $b$  – коефіцієнт для перерахунку на весь об'єм фільтрату; 10 – кількість мг-екв, взятих для аналізу 0,05н HCl ( $0,05 \cdot 200 = 10$ ); 0,1 – нормальність NaOH для перерахунку в мг-екв;  $K_{\text{NaOH}}$  – поправка на нормальність NaOH.

Сума увібраних основ визначається для того, щоб знати, яку кількість лугу необхідно прилити в колбу, куди буде перенесено ґрунт з фільтру, для створення слабколужної реакції ґрунтової суспензії.

На 1 мг-екв суми увібраних основ необхідно приливати 10 мл 0,1 н NaOH. Якщо сума увібраних основ не визначалась, то луг додають до суспензії поступово, невеликими порціями до встановлення слабколужної реакції (проба у фарфоровій чашці з фенолфталеїном).

Промитий ґрунт змивають з фільтру за допомогою промивалки в конічну колбу місткістю 500 мл приблизно до об'єму 250 мл. Додати до суспензії розраховану кількість лугу. У колбі відбувається така реакція:



ГВК ґрунту насичується одновалентними катіонами натрію і колоїди із стану гелю переходять у золь, що призводить до розділення агрегатів на окремі частки.

Колбу ставлять на електроплитку і рівномірно кип'ятять суспензію протягом однієї години з моменту закипання. Для зменшення випаровування застосовують зворотний холодильник – скляну лійку з коротким носиком.

При кип'ятінні слідкують, щоб реакція суспензії була слабколужною, тобто суспензія повинна мати блідо-рожеве забарвлення. Якщо під час кип'ятіння це забарвлення зникло, треба капнути в колбу 2-3 краплі фенолфталеїну і додати 0,1 н NaOH до порожевіння.

Після кип'ятіння суспензію потрібно остудити. На цьому закінчується перша частина аналізу, тобто хімічна підготовка безкарбонатного ґрунту до визначення гранулометричних фракцій.

### **Підготовка карбонатного ґрунту**

Наважку 10 г ґрунту обробляють у фарфоровій чашці 0,2 н НСІ, доливаючи щоразу приблизно 50 мл кислоти. Оброблений першою порцією кислоти ґрунт розмішують скляною паличкою 5-6 разів протягом години. Після цього рідину по паличці зливають на фільтр середньої щільності в мірну колбу об'ємом 500 мл і стежать, щоб весь ґрунт залишився в чашці. До нього додають нову порцію кислоти. Розчинення карбонатів повторюють до припинення утворення бульбочок  $\text{CO}_2$ . Після приливання останньої порції кислоти, чашку з ґрунтом залишають на ніч для повного розчинення карбонатів, а потім промивають його 0,05 н НСІ до відсутності реакції на кальцій.

Проба на кальцій. Набирають з-під лійки близько 3 мл фільтрату і нейтралізують його 10%-м розчином аміаку, додаючи останній до виразного запаху, підкислюють кількома краплями 10%-ної оцтової кислоти, додають у пробірку 2 мл насиченого розчину щавлевокислого амонію і нагрівають до кип'ятіння. Якщо у фільтраті є кальцій, то випадає осад  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ .

При наявності кальцію ґрунт продовжують обробляти соляною кислотою. Якщо кальцій відсутній, дають повністю стекти соляній кислоті з фільтру.

У фільтраті визначають кількість розчинених у кислоті речовин. Для цього вимірюють його об'єм, або доводять до 500 чи 1000 мл, добре перемішують. Відбирають піпеткою 25 мл і випарюють у заздалегідь зваженій чашці.

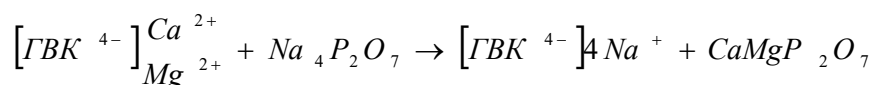
Ґрунт з фільтру змивають водою в конічну колбу місткістю 500 мл, додають поступово 0,1 н NaOH до слабколужної реакції. Суспензію кип'ячать як і при підготовці безкарбонатного ґрунту.

### **2.2.2. Підготовка ґрунту до гранулометричного аналізу методом розтирання з розчином пірофосфату натрію**

З повітряносухого зразка ґрунту, просіяного крізь сито з отворами 1 мм, беруть наважку 10 г, зважену з точністю до 0,01 г і поміщають у фарфорову чашку діаметром 10-12 см.

Наливають у маленький стаканчик певний об'єм 4%-го розчину пірофосфату натрію. Для незасолених і незагіпсованих ґрунтів легкого гранулометричного складу беруть 5 мл, для важкосуглинкових, глинистих і карбонатних – 10мл, а для засолених та загіпсованих ґрунтів – 20 мл.

Наважку ґрунту змочують краплями розчину пірофосфату натрію до тістоподібного стану і обережно, без натискання розтирають 10 хвилин товкачиком з гумовим наконечником. Після розтирання виливають в чашку залишок розчину пірофосфату, додають дистильовану воду і, розмішуючи тим же товкачиком, доводять суміш до стану суспензії. Реакція насичення вбирного комплексу ґрунту натрієм відбувається за рівнянням:



Підготовлена таким способом суспензія підлягає аналізу для визначення фракцій механічних елементів.

### **2.3. Кількісне визначення механічних елементів**

Отриману тим чи іншим способом суспензію ґрунту переносять, у мірний циліндр об'ємом 500 мл, крізь сито з отворами 0,25 мм, яке встановлюють у велику лійку. Ґрунт на ситі розтирають пальцем і промивають дистильованою водою, поки з під сита не буде витікати зовсім чиста вода. При цьому необхідно стежити за рівнем суспензії в циліндрі.

Частки, які залишилися на ситі (фракції розміром від 0,25 до 1 мм), змивають промивалкою у заздалегідь зважену фарфорову чашку, надлишок води з неї обережно зливають. Потім її ставлять на водяну баню для випаровування, далі висушують у сушильній шафі три години при температурі 105<sup>0</sup>; охолоджують в ексікаторі, зважують на аналітичних терезах і за масою сухого залишку розраховують процентний вміст часток даного розміру. Обчислення проводять за формулою:

$$\text{Відсоток часток } 1-0,25 \text{ мм} = \frac{P \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P_1},$$

де P – маса часток після висушування, г; P<sub>1</sub> – маса повітряносухого ґрунту (наважка), г; 100 – для перерахунку у відсотки; K<sub>H<sub>2</sub>O</sub> - коефіцієнт гігроскопічності.

Об'єм суспензії в циліндрі доливають дистильованою водою, але не доводять до риски, перевіряють реакцію суспензії, при необхідності додають 0,1 н NaOH до слаболужної реакції, а після цього доводять до риски 500 мл.

Частки діаметром до 0,05 мм визначають шляхом відбору спеціальною піпеткою певного об'єму (20 або 25 мл) суспензії ґрунту з тієї чи іншої глибини стовпа рідини залежно від розміру часток і швидкості їх падіння. Для цього суспензію в циліндрі збовтують мішалкою і послідовно відбирають чотири проби, занурюючи піпетку на відповідну глибину. В таблиці 38 зазначено час відбирання проб і глибину занурювання піпетки для часток різного розміру при щільності твердої фази ґрунту 2,60.

Суспензію збовтують у циліндрі протягом 1 хв перед кожним взяттям проби. Час, потрібний для взяття чергової проби, відлічують з моменту закінчення збовтування. Для спостереження за температурою термометр занурюють у такий же циліндр з водою, в якому знаходиться ґрунтова суспензія.

Піпетка для відбору проб закріплена на штативі і має пристрій для автоматичного засмоктування суспензії (аспіратор). Нижня кінцівка піпетки запаяна, а отвори зроблені по боках, що виключає засмоктування суспензії з нижніх шарів.

Таблиця 38.

**Глибина занурення піпетки і час після збовтування суспензії для взяття проб**

Проба	Розмір часток, мм	Глибина занурення піпетки, см	Інтервал часу після збовтування суспензії до початку взяття проби за різних температур, °С			
			10	15	20	30
I	≤0,05	25	149 с	130 с	115 с	92 с
II	≤0,01	10	24 хв 52с	21 хв 45с	19 хв 14с	15 хв 17с
III	≤0,005	10	1 г 39хв	1 г 27хв	1 г 17 хв	1 г 01 хв
IV	≤0,001	7	29 г 00хв	25 г 22хв	22 г 26хв	15 г 50хв

Перед закінченням відстоювання піпетку занурюють на задану глибину в циліндр. За 10 секунд до закінчення строку відкривають кран, який з'єднує піпетку з аспіратором. Засмоктування суспензії потрібно проводити швидко, особливо при взятті першої проби, на відстоювання якої потрібно півтори – дві хвилини. Після заповнення піпетки до мітки, кран аспілятора закривають, піпетку піднімають по штативу і, відкривши її верхній кран, зливають суспензію у заздалегідь зважену фарфорову чашку. Частки ґрунту, що залишилися на стінках піпетки, змивають невеликими порціями дистильованої води, збираючи промивні води в ту саму чашку. Для запобігання втрат суспензії нижня кінцівка піпетки повинна торкатися дна чашки.

Взяту пробу випаровують на водяній бані до повного висихання, ставлять у сушильну шафу на три години при температурі 105<sup>0</sup> С, охолоджують в ексикаторі, зважують на аналітичних терезах і за масою сухого залишку розраховують процентний вміст фракції.

Наступні проби відбирають у тій же послідовності, після чого циліндр водою не доливають. Якщо пробу взято невірною, то суспензію треба знову збовтати і відібрати пробу вдруге. Розрахунки процентного вмісту часток усіх чотирьох проб проводять за формулою:

$$\text{Відсоток часток проби} = \frac{20 \cdot (P - 0.002 V) \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P_1},$$

де  $P$  – маса проби, г;  $P_1$  – маса повітряносухого ґрунту (наважка), г; 100 – для перерахунку в проценти;  $V$  – об'єм 4%  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  прилитого до наважки ґрунту при його хімічній підготовці до аналізу, мл;  $K_{H_2O}$  – коефіцієнт гігроскопічності; 20 – коефіцієнт перерахунку на весь об'єм суспензії (500:25=20).

Для перевірки правильності виконання аналізу слід мати на увазі, що вміст часточок (у грамах або відсотках) від першої проби до четвертої повинен зменшуватись, бо кожна попередня проба включає всі наступні.

Після розрахунку процентного вмісту часток у всіх пробах виражають процентний вміст фракцій згідно з класифікацією механічних елементів.

#### **2.4. Розрахунки результатів гранулометричного аналізу**

У результаті гранулометричного аналізу потрібно встановити відносний вміст у ґрунті різних за розміром фракцій механічних елементів.

Для визначення вмісту грубого пилу (0,05-0,01 мм) треба від першої проби (I) відняти другу (II); для визначення середнього пилу (0,01-0,005 мм) – від другої проби (II) відняти третю (III); для визначення дрібного пилу (0,005-0,001 мм) – від третьої проби (III) відняти четверту (IV); вміст мулу (0,001 мм) відповідає вмісту четвертої проби.

Втрати від обробки соляною кислотою та частки грубого і середнього піску (1-0,25 мм) розраховані при їх визначенні. Вміст дрібного піску (0,25-0,05 мм) встановлюють розрахунковим методом. Знаючи загальний



вміст часток 0,25 мм і 0,05 мм, а також втрати при обробці кислотою, дану фракцію розраховують за різницею:

$$a = 100 - (b + v + g) ,$$

де а – вміст фракції (0,25-0,05 мм), %; б – вміст фракції >0,25 мм, %; в – вміст фракції <0,05 мм, %; г – втрати від обробки соляною кислотою, %; 100 – вміст усіх фракцій, %.

На підставі даних аналізу визначають гранулометричний склад досліджуваного ґрунту згідно з класифікацією Н.А. Качинського . За вмістом часток фізичної глини (<0,01 мм) ґрунт відносять до однієї з 9-ти груп гранулометричного складу, а потім дають більш повну назву з урахуванням двох переважаючих з п'яти фракцій: гравійної, піщаної, грубопилуватої, пилуватої, мулистої.

## 2.5. Гранулометричний склад ґрунтів України

На території України розміщення ґрунтів різного гранулометричного складу має певну закономірність. Так, на Поліссі переважають ґрунти з піщаним і супіщаним гранулометричним складом. Проте зустрічаються і більш важкі ґрунти. На лесових островах Полісся і, особливо в Луцько-Ровенському масиві, переважна більшість ґрунтів має пилувато- та грубопилуватий легкосуглинковий гранулометричний склад.

У Лісостепу ґрунти легко-, середньо- і важкосуглинкового гранулометричного складу, а в східній частині переважно легкосуглинкові.

На території Північного і Центрального Степу переважають пилуваті середньо- і важкосуглинкові ґрунти.

У Сухому Степу ґрунти важкосуглинкові та глинисті, а в районі Херсону і Цюрупінська – багато піщаних.

У степовій частині Криму ґрунти важкосуглинкові та глинисті.

У гірських районах Криму, Карпат і на Донбасі ґрунти щєбнюваті, містять уламки сланців, пісковиків, крейди.

Отже, гранулометричний склад ґрунтів України дуже різноманітний, але переважають середньо- та важкосуглинкові ґрунти.

## 2.6. Застосування даних гранулометричного аналізу

Знання гранулометричного складу з урахуванням інших властивостей (вмісту гумусу, складу обмінних катіонів, реакції ґрунту та інших) дозволяє вирішувати ряд важливих питань генезису і раціонального використання ґрунтів. Від гранулометричного складу значною мірою залежить інтенсивність багатьох ґрунтоутворних процесів, які пов'язані з перетворенням, переміщенням і нагромадженням органічних та мінеральних сполук у ґрунті.

Важливою діагностичною ознакою ґрунтів є *ступінь диференціації* їх профілю за гранулометричним складом. Цей показник визначається типом ґрунтоутворення, але в межах одного типу суттєво залежить від віку ґрунтоутворення та характеру ґрунтоутворної породи. Молоді ґрунти менше диференційовані, ніж зрілі. Більш проникні для розчинів породи утворюють більш диференційований профіль. Отже, максимальна для даного типу ґрунтоутворення диференціація профілю відбувається на породах середніх за гранулометричним складом і багатих на мінерали, що легко вивітрюються.

*Супінь диференціації* ґрунтового профілю визначають за формулою:

$$K = \frac{v \cdot d_B}{a \cdot d_A} ,$$

де  $a$  – вміст мулу в горизонті HE або H, %;  $v$  – вміст мулу в горизонті E або HP чи P, %;  $d_A$  – щільність у горизонті HE або H, г/см<sup>3</sup>;  $d_B$  – щільність у горизонті E, HP або P, г/см<sup>3</sup>.

За ступенем диференціації ґрунти поділяються на:

- недиференційовані – горизонт E в профілі відсутній.
- слабодиференційовані –  $K$  дорівнює 0,7-1,3.
- середньодиференційовані –  $K$  дорівнює 1,3-1,6.
- сильнодиференційовані –  $K$  дорівнює 1,6-2,0.
- різкодиференційовані –  $K$  понад 2,0.

Рослини неоднаково реагують на гранулометричний склад ґрунту. Маючи значні можливості до адаптації, для кожної групи культур існує певний оптимум (табл. 39), який слід враховувати при розробці заходів раціонального використання земель.

Таблиця 39.  
Відношення рослин до гранулометричного складу ґрунту  
(за В.Ф. Вальковим)

Ґрунт			
піщаний та супіщаний	легко- і середньосуглинковий	структурний важкосуглинковий та глинистий	слабоструктурений та змитий важкосуглинковий і глинистий
Жито	Пшениця озима	Пшениця яра	Рис
Картопля	Овес	Ячмінь	Кукурудза
Люпин	Просо	Кукурудза	Люцерна синьогібридна
Еспарцет	Жито	Сорго	Слива
піщаний	Гречка	Соя	Вишня
Люцерна	Ячмінь	Соняшник	Буркун білий
жовта	Льон	Цукровий буряк	Буркун жовтий
Серадела	Квасоля	Коноплі	
Кавуни	Горох	Вика	
Дині	Картопля	Квасоля	
Гарбузи	Конюшина	Слива	
Черешня	Цукровий буряк	Абрикос	
	Черешня	Вишня	
	Яблуна		
	Груша		

Наприклад, картопля і жито непогано родять на важкосуглинкових ґрунтах. Проте найвища врожайність цих культур спостерігається на супіщаних і легкосуглинкових різновидах. Найкращий розвиток і найвища продуктивність озимої пшениці, ячменю, вівса і цукрових буряків відмічена на легко-, середньо- і важкосуглинкових ґрунтах, а льону – на легко- і середньосуглинкових. Кукурудза і соняшник краще ростуть на важкосуглинкових і глинистих ґрунтах. Люпин, еспарцет піщаний, серадела і люцерна жовта добре почувають себе на піщаних і супіщаних ґрунтах, конюшина – на суглинкових, а посіви люцерни синьогібридної, буркуна білого і жовтого краще вдаються на важкосуглинкових і глинистих. Більшість польових культур (озима пшениця, кукурудза, цукровий буряк, соняшник та інші) не люблять піщаних ґрунтів.

Важливе значення відіграє гранулометричний склад при встановленні придатності ґрунтів під плодові насадження, бо залежно від ґрунтово-кліматичних умов їх відношення до нього різне. Наприклад, легкі та важкі ґрунти з промивним водним режимом більшою мірою несприятливі під сади, ніж ті самі ґрунти з періодично промивним водним режимом.

Дані гранулометричного аналізу використовуються при бонітуванні ґрунтів, проектуванні осушувальних і зрошувальних меліоративних систем. Залежно від гранулометричного складу ґрунтів, змінюються умови обробітку, строки польових робіт, норми внесення добрив і хімічних меліорантів, розміщення сільськогосподарських культур та ін.

В останні роки ґрунтознавча школа України на чолі з М.І.Полупаном запропонувала визначати рід ґрунтів за його гранулометричним складом. Автори пропонують одночленну класифікацію ґрунтів за вмістом фізичної глини. Рід ґрунту змінюється через кожні 5% вмісту фізичної глини.

У такий спосіб виділено 15 типологічних градацій ґрунтів на рівні роду (М.І.Полупан та ін.,2005).

## **РОЗДІЛ 3. АГРЕГАТНИЙ СТАН ҐРУНТУ**

### **3.1. Агрегатний аналіз ґрунту за методом**

**М.І. Саввінова**

Аналіз структури для її агрономічної оцінки проводять для орного та підорного горизонтів. Орний горизонт характеризують за шарами 0-10, 10-20 і 20-30см.

У полі зразки відбирають лопатою з п'яти точок і з них складають змішаний зразок. Для цього ґрунт зсипають в одному місці, обережно перемішують, недопускаючи руйнування агрегатів, і вміщують у дерев'яний ящик. Маса зразка 1,5-2,5 кг. В лабораторії ґрунт висушують, розстеливши тонким шаром на папері до повітряносухого стану і обережно вибирають коріння, камінці та інші включення.

Процедура методу поділяється на дві стадії: розподіл на фракції агрегатів повітряносухого зразка ґрунту за допомогою набору сит і розподіл на фракції водотривких агрегатів за допомогою сит у воді.

#### **3.1.1 Сухий агрегатний аналіз**

*Хід аналізу.* На технічних терезах зважують 1 кг ґрунту і просівають його крізь колонку сит з діаметром отворів 10; 7; 5; 3; 1; 0,5; 0,25 мм. На нижньому ситі розміщують піддон, а на верхньому – кришку. Ґрунт треба просіювати невеликими порціями (100-200г), нахилиючи сита в різні боки від 5 до 15 разів, уникаючи сильних струсів.

Закінчення розподілу агрегатів на ситах потрібно перевіряти. Для цього знімають кожне сито і роблять кілька коливань над листом паперу. Якщо падають поодинокі агрегати, то вважають, що на ситі залишилися агрегати більші від розміру отворів. Фракції агрегатів переносять у заздалегідь зважені фарфорові чашки, зважують на технічних терезах і за різницею визначають масу фракції. Далі розраховують процентний вміст фракції від маси повітряно-сухого ґрунту. Вміст фракції менше 0,25 мм розраховують за різницею між масою взятого для аналізу ґрунту і сумою

мас фракцій понад 0,25 мм. За 100 % приймається взята для аналізу наважка.

Крім цього, за даними сухого розсіву розраховують коефіцієнт структурності за формулою

$$K_{CT} = A : B ,$$

де  $K_{CT}$  – коефіцієнт структурності; А – сума макроагрегатів розміром від 0,25 до 10 мм; Б – сума агрегатів, менших 0,25 мм і брил, більших 10 мм, %.

Чим вищий  $K_{CT}$ , тим кращий структурний стан має ґрунт.

### 3.1.2. Мокрий агрегатний аналіз

*Хід аналізу.* Для визначення водотривкості складають середню пробу масою 50 г з усіх фракцій агрегатів, які отримали при сухому просіюванні, пропорційно їх процентному вмісту: беруть кожну фракцію в кількості, яка дорівнює половині процентного вмісту її в даному ґрунті. Наприклад, якщо вміст у ґрунті фракції 10-7мм становить 16,8%, то для середньої проби її беруть у кількості 8,4 г, при вмісті фракції 7-5 мм 15,4% - відповідно 7,7 г і т.д.

У середню пробу фракцію агрегатів менше 0,25 мм не включають, бо при подальшій обробці вона, проходячи крізь сита, заважає просіюванню більш грубих фракцій. Отже, наважка буде меншою за 50 г, але при розрахунках вмісту водотривких агрегатів у процентах вважається, що наважка ґрунту становить 50 г.

Підготовлену наважку переносять у літровий циліндр і обережно по стінках приливають воду для того, щоб агрегати зволожувалися поступово, а вода витискала з них повітря, яке може в подальшому їх зруйнувати. Зволожену наважку залишають у спокої 10 хв, після чого циліндр доливають водою до мітки і трохи нахиляють для витискання повітря, що залишилося в ґрунті.

Складають колонку з п'яти сит з діаметром отворів 5; 3; 1; 0,5; 0,25 мм без dna і кришки, скріплюють сита крізь вушка дротяними дужками і

вміщують у бак, заповнений водою так, щоб верхнє сито було занурено у воду на 8 –10 см.

Через 10 хв циліндр доливають водою до верху, накривають склом і перевертають догори дном, утримуючи в такому положенні кілька секунд, поки ґрунт не осяде на скло і знов перевертають циліндр. Після десяти обертів закритий циліндр перевертають догори дном і розміщують у воді над ситами. Під водою циліндр швидко відкривають і плавними рухами циліндра, не торкаючись його краєм дна сита і не відриваючи від води, рівномірно розподіляють ґрунт по поверхні сита. Через 50-60 секунд, коли всі агрегати розміром понад 0,25 мм впадуть на сито, циліндр у воді закривають і виймають. Частину фракції менше 0,25 мм, яка залишилася у циліндрі, не визначають, бо вона розраховується за різницею.

Потім приступають до розподілу на фракції водотривких агрегатів. Для цього набір сит повільно піднімають на 5-6 см, не оголюючи агрегатів на верхньому ситі і швидко опускають до низу на 3 см, витримують 2-3 секунди, поки грудочки ґрунту, підняті за інерцією під час опускання, не впадуть на дно сита. Потім знову повільно піднімають на 3-4 см і швидко опускають на ту саму глибину. Дану операцію повторюють 10 разів, після чого виймають з бака два верхніх сита, а нижні струшують ще 5 разів.

Виймають сита з води і ставлять на стіл. З кожного сита змивають агрегати водою з промивалки у велику фарфорову чашку, перекинувши його догори дном. Надлишок води зливають і переносять фракції агрегатів за допомогою промивалки у маленькі заздалегідь зважені чашки. Випаровують воду на водяній бані. Висушують до повітряносухого стану, залишають на столі до наступного дня і зважують на технічних терезах. Отримана маса фракції в грамах, помножена на 2, дає процентний вміст агрегатів.

За структурним станом ґрунти можна поділити на три групи, які різко відрізняються між собою за водно-фізичними властивостями.

:

- безструктурні;
- слабоструктурні;
- структурні.

До безструктурних належать піщані та супіщані ґрунти, які у своєму складі мають менше 10% мулистих часток, їх ґрунтовий вбирний комплекс ненасичений основами, а вміст гумусу не перевищує 1%. За таких умов елементарні ґрунтові частки майже не утворюють агрегатів, тому ці ґрунти характеризуються високою водопроникністю, низькою вологоємністю, мають підвищену щільність і недостатньо забезпечені елементами живлення для рослин.

До слабоструктурних належать піщано- та грубопилуваті легко- і середньосуглинкові ґрунти, які містять понад 50% піщаних і грубопилуватих часток. Вміст мулу в них становить 10-20%, а гумусу – 1-3%. У таких ґрунтах водотривких агрегатів до 50%, тому вони мають недостатню пористість і вологоємність, у більшості незадовільну водопроникність, здатні до запливання, ущільнення і утворення ґрунтової кірки.

До структурних належать пилувато-середньосуглинкові, важкосуглинкові і глинисті ґрунти, в яких мулу понад 20%, піщаних та грубопилуватих часток до 50%, їх ґрунтовий вбирний комплекс насичений основами, а вміст гумусу становить понад 3%. У таких ґрунтах водотривких агрегатів понад 50%. Вони мають достатню пористість, добру вологоємність і високу водопроникність, добре забезпечені елементами живлення рослин.

### **3.2. Мікроагрегатний аналіз ґрунту за методом Н.А. качинського**

Більша частина механічних елементів у ґрунті завжди знаходиться у вигляді агрегатів. Частки, дрібніші від 0,01 мм, агреговані майже на 90%. Тому найбільш загальним для ґрунтів є мікроагрегатний стан. Мікроагрегати порівняно з механічними елементами, мають дуже важливу



властивість – додаткову мікроагрегатну пористість. Для елементарних ґрунтових часток при щільній упаковці вона становить лише 20-25% від об'єму, а в мікроагрегованому їх стані пористість зростає до 40-50%.

*Елементарна ґрунтова частка і агрегат* того самого розміру дуже різняться між собою. Перша являє собою монолітну масу уламку породи чи мінералу. Сумарна зовнішня поверхня такої частки визначається лише за її формою. *Мікроагрегат* – це більш-менш пухка маса, мікропори якої заповнені водним розчином або повітрям. Він має не лише зовнішню, а й внутрішню поверхню мікропор. Тому водні, фізичні, хімічні, біологічні та інші властивості ґрунтів у першу чергу визначаються мікроагрегатним, а не гранулометричним складом.

Мікроагрегатний стан ґрунтів дуже динамічний, він змінюється у широких межах залежно від умов існування ґрунту. Зміни відбуваються як у бік збільшення кількості й розмірів агрегатів, так і в бік зменшення агрегованості ґрунту. Межею можливого розпилення ґрунту є його гранулометричний склад.

Мікроагрегатний аналіз доцільно проводити для орного та підорного горизонтів паралельно з гранулометричним аналізом. Це дасть змогу оцінити оструктуреність і дисперсність ґрунту та визначити потенційну здатність його до утворення структури.

При мікроагрегатному аналізі визначають кількість агрегатів у таких фракціях: 1-0,25; 0,25-0,05; 0,05-0,01; 0,01-0,005; 0,005-0,001 та менше 0,001 мм.

Подібно до гранулометричного, мікроагрегатний аналіз складається з двох стадій: підготовки зразка до аналізу і кількісного визначення вмісту окремих фракцій мікроагрегатів.

Для аналізу беруть наважку 10-20 г повітряносухого ґрунту, розтертого товчачиком з гумовим наконечником у фарфоровій ступці і просіяного крізь сито з діаметром отворів 1 мм; поміщають у півлітрову склянку з широким горлом; вливають 250 мл дистильованої води і

залишають на 24 години. Після цього склянку закривають корком і 2 години струшують у горизонтальній площині (180 коливань на хвилину). На цьому закінчується підготовка зразка до аналізу.

Суспензію переносять крізь вставлене у велику лійку сито з отворами 0,25 мм у літровий циліндр. Ґрунт на ситі промивають дистильованою водою, поки крізь сито не піде прозора вода. Мікроагрегати розміром від 1 до 0,25 мм, що залишилися на ситі, змивають у заздалегідь зважену чашку, надлишок води зливають декантацією, а воду яка залишилась, випаровують на водяній бані.

Чашку з ґрунтом висушують у сушильній шафі протягом 3 годин при температурі 105<sup>0</sup> С і після охолодження в ексікаторі зважують на аналітичних терезах. Різниця в масі дасть вміст у наважці мікроагрегатів розміром від 1 до 0,25 мм. Обчислення процентного вмісту мікроагрегатів даного розміру здійснюють за формулою:

$$\text{Відсоток часток 1-0,25 мм} = \frac{P \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P_1},$$

де P – маса часток після висушування, г; P<sub>1</sub> – маса повітряносухого ґрунту (наважка), г; 100 – для перерахунку у відсотки; K<sub>H<sub>2</sub>O</sub> - коефіцієнт гігроскопічності.

Циліндр доливають водою до 1 л і визначають усі інші фракції за допомогою піпетки так, як це робиться при гранулометричному аналізі. Час відбору проб наведено в таблиці 40.

Обчислення процентного вмісту мікроагрегатів у пробах здійснюють за формулою:

$$\text{Відсоток часток проби} = \frac{20 \cdot (P - 0.002 V) \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{P_1},$$

де P – маса проби, г; P<sub>1</sub> – маса повітряносухого ґрунту (наважка), г; 100 – для перерахунку в проценти; V- об'єм 4% Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> прилитого до наважки ґрунту при його хімічній підготовці до аналізу, мл; K<sub>H<sub>2</sub>O</sub> - коефіцієнт гігроскопічності; 20 – коефіцієнт перерахунку на весь об'єм суспензії (500:25=20).

Таблиця 40.

**Час відбору проб та глибина занурення піпетки залежно від температури для ґрунтів із щільністю твердої фази 2,6 г/см<sup>3</sup> (за С.В. Астаповим)**

Проба	Розмір часток, мм	Глибина занурення піпетки, см	Інтервал часу після збовтування суспензії до початку відбору проби за різних температур, °С			
			10	15	20	30
I	0,05	25	3 хв 49с	3 хв 20 с	2 хв 57 с	2 хв 38 с
II	0,01	10	38 хв 06с	33 хв 30с	29 хв 40с	26 хв 30с
III	0,005	10	2 г 32 хв	2 г 13 хв	1 г 59 хв	1 г 46 хв
IV	0,001	7	63 г 29хв	55 г 42хв	49 г 20хв	43 г 6 хв

При мікроагрегатному аналізі засолених ґрунтів замість дистильованої води використовують водну витяжку з даного ґрунту, яку одержують таким чином: 40 г повітряносухого ґрунту вміщують у склянку, місткістю трохи більше літра, в яку доливають 1000 мл дистильованої води, перемішують і залишають на 24 години, після чого 5 хвилин збовтують і фільтрують.

## РОЗДІЛ 4. ЗАГАЛЬНІ ФІЗИЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ

### 4.1 Визначення щільності твердої фази ґрунту за С.І. Долговим

Щільність твердої фази ґрунту (ЩТФГ) – це відношення маси його твердої фази до маси такого ж об'єму води при температурі  $4^0$  С, або маса  $1 \text{ см}^3$  абсолютно сухої твердої фази ґрунту. Різні типи ґрунтів мають неоднакову щільність твердої фази. Її величина в мінеральних ґрунтах коливається в межах від 2,4 до 2,8, а у торфах залежно від ступеня розкладу і зольності становить від 1,4 до  $1,8 \text{ г/см}^3$ . Отже ЩТФГ залежить від мінералогічного складу і вмісту органічних компонентів, тобто, чим більше в ґрунті міститься важких мінералів і менше органічних речовин, тим вища щільність його твердої фази.

Використовують показники ЩТФГ при розрахунках пористості. Визначають ЩТФГ пікнометричним методом, який базується на врахуванні об'єму води, що витискується твердою фазою ґрунту. Для аналізу беруть повітряносухий ґрунт, розтертий і просіяний крізь сито з діаметром отворів 1 мм; пікнометри або термостійкі мірні колби об'ємом 50-100 мл; прокип'ячену дистильовану воду.

*Хід аналізу.* Прокип'ятити дистильовану воду в конічній колбі протягом 30 хвилин, щоб звільнити її від повітря і охолодити до кімнатної температури.

Пікнометр (мірну колбу) наповнити дистильованою водою до риски і зважити на аналітичних терезах з точністю до 0,001 г. Після зважування воду з нього слід вилити знову в конічну колбу. Відважити у задалегідь зважену фарфорову чашку 10 г ґрунту і перенести її в пікнометр. Частки ґрунту, що прилипли до стінок, змити дистильованою водою, наповнивши його трохи менше, ніж до половини. Чашку, в якій знаходилась наважка, знову зважити і за різницею між масою чашки з ґрунтом і пустою чашкою

знайти масу ґрунту, яку взято для аналізу. Одночасно беруть наважку ґрунту в бюкс для визначення гігроскопічної вологості.

Пікнометр поставити на піщану баню і обережно прокип'ятити протягом 30 хв, щоб видалити повітря з ґрунту. Після кип'ятіння його слід залишити на ніч в лабораторії, для охолодження до кімнатної температури. Потім долити дистильованою водою до риски, обтерти і зважити з точністю до 0,001 г.

ЩТФГ (г/см<sup>3</sup>) розраховують за формулою:

$$\text{ЩТФГ} = \frac{A}{B + A - C} ,$$

де А – маса абсолютно-сухого ґрунту, г; В – маса пікнометра з водою, г; С – маса пікнометра з водою і ґрунтом, г; В+А-С – маса витісненої води, г.

Масу абсолютно сухої наважки ґрунту визначають за формулою:

$$A = \frac{a \cdot 100}{100 + W} ,$$

де А – маса абсолютно сухого ґрунту, г; а – маса повітряносухого ґрунту, взятого для аналізу, г; W – вміст гігроскопічної вологи, %.

#### **4.2.Визначення щільності ґрунту**

*Хід аналізу.* До виходу в поле зважують на технічних терезах з точністю до 0,01 г металевий циліндр (об'ємом 100, 200, 500 см<sup>3</sup>) з кришками.

У полі виділяють незатоптану ділянку (1×1 м), зрізають з неї рослини, а поверхню ґрунту вирівнюють, або копають ґрунтовий розріз, в якому виділяють генетичні горизонти, з яких будуть відбирати проби.

Знімають з циліндра кришки і обережно за допомогою невеликої дошки, натискуючи на неї рукою, або постукуючи дерев'яним молотком, занурюють його в ґрунт. Циліндр треба повністю заповнити ґрунтом, не допускаючи його переущільнення. Дошку знімають, закривають циліндр кришкою, обкопують навкруги ножем, підрізають знизу і виймають з ґрунту. Циліндр перевертають, ножем зрізають надлишок ґрунту врівень з

краями, очищають бокові стінки і закривають другою кришкою. Проби відбирають у 3-6-кратній повторності.

Відібравши проби з верхнього горизонту, знімають заступом необхідний шар ґрунту, утворену поверхню вирівнюють ножем і продовжують відбір проб. Одночасно в бюкси відбирають проби для визначення польової вологості ґрунту.

Циліндри з ґрунтом доставляють у лабораторію, зважують і визначають щільність ґрунту.

Для обчислення ЩГ необхідно знати об'єм циліндра, який визначають за формулою:

$$V = \Pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot h ,$$

де  $V$  - об'єм циліндра,  $\text{см}^3$ ;  $h$  - висота циліндра,  $\text{см}$ ;  $d$  - внутрішній діаметр циліндра,  $\text{см}$ ;  $\Pi$  – постійна величина, 3,14.

Щільність ґрунту розраховують за формулою:

$$d_V = \frac{M \cdot 100}{V(100 + W)} ,$$

де  $d_V$  - щільність ґрунту,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  $M$  – маса вологого ґрунту,  $\text{г}$ ;  $W$  - вологість ґрунту, %;  $V$  - об'єм циліндра,  $\text{см}^3$ .

### Застосування показників щільності ґрунту

Щільність ґрунту має велике агрономічне і практичне значення. Показники ЩГ використовуються для розрахунків пористості ґрунту, маси його окремих горизонтів, запасів води, елементів живлення, гумусу та інших складових частин ґрунту, а також для перерахунку показників вологості ґрунту з масових у об'ємні проценти.

Масу окремих шарів ґрунту розраховують за такими формулами:

- абсолютно сухого ( $M_{сг}$ ):

$$M_{сг} = 100 \cdot d_V \cdot h , \text{ м/га}$$

- вологого ( $M_{вг}$ ):

$$M_{вг} = d_V \cdot h \cdot (100 + W) , \text{ м/га}$$

де  $h$  – глибина шару, см;  $W$  – вологість ґрунту, %.

Для розрахунків запасів різних компонентів ґрунту використовують наступні формули:

- з  $a$  вмістом у відсотках від маси абсолютно сухого ґрунту гумусу, карбонатів, гіпсу, солей та ін.

$$M = p \cdot h \cdot d_V, \text{ т/га},$$

де  $p$  – вміст складової частини ґрунту у відсотках від маси абсолютно сухого ґрунту;

- за вмістом води у відсотках від маси абсолютно сухого ґрунту ( $M$ ):

$$M = W \cdot h \cdot d_V, \text{ м}^3/\text{га}$$

$$M = 0,1 \cdot W \cdot h \cdot d_V, \text{ мм}$$

де  $W$  - вміст води у відсотках від маси абсолютно сухого ґрунту;

- за вмістом елементів живлення в мг на 100 г абсолютно сухого ґрунту (Меж):

$$\text{Меж} = P \cdot h \cdot d_V, \text{ кг/га}$$

$$\text{Меж} = 0,001 P \cdot h \cdot d_V, \text{ т/га}$$

$$\text{Меж} = 0,1 P \cdot h \cdot d_V, \text{ г/м}^2$$

де  $P$  - вміст елемента, мг/100 г ґрунту;

- за вмістом обмінних катіонів у мг-екв на 100 г абсолютно сухого ґрунту ( $M_k$ ):

$$M_k = 0,001 N \cdot h \cdot d_V, \text{ т/га}$$

$$M_k = 0,1 N \cdot h \cdot d_V, \text{ г/м}^2,$$

де  $N$  - число мг обмінного катіону в одному еквіваленті.

### 4.3. Визначення пористості ґрунту

Загальну пористість ґрунту визначають, використовуючи показники щільності ґрунту і щільності його твердої фази. Розрахунки виконують за формулою:

$$P_{\text{заг}} = (1 - d_V/D) \cdot 100,$$

де  $P_{\text{заг}}$  – загальна пористість, % від об'єму ґрунту;  $D$  – ЩТФГ, г/см<sup>3</sup>;  $d_V$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Загальну пористість можна розрахувати за даними повної вологості, користуючись формулою:

$$P_{\text{заг}} = ПВ \cdot d_V,$$

де  $P_{заг}$  – загальна пористість, % від об'єму ґрунту;  $PВ$  – повна вологемність, % від маси ґрунту;  $d_v$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

### Визначення диференціальної пористості

Для розрахунків пористості аерації і об'єму пор, заповнених капілярною водою (активна пористість) необхідно знати такі характеристики ґрунту: щільність ґрунту, максимальну гігроскопічність, вологість в'янення і найменшу вологемність.

Розрахунки капілярної пористості заповненої водою при найменшій вологемності, тобто капілярно-підвішеною водою, проводять за формулою:

$$P_k = (NB - BB) \cdot d_v,$$

де  $P_k$  – капілярна пористість, % від об'єму ґрунту;  $NВ$  – найменша вологемність, % від маси ґрунту;  $ВВ$  – вологість в'янення, % від маси ґрунту;  $d_v$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Розрахунки пористості аерації проводять за формулою:

$$P_{аер} = P_{заг} - P,$$

де  $P_{аер}$  – пористість аерації, % від об'єму ґрунту;  $P_{заг}$  – загальна пористість, % від об'єму ґрунту;  $P$  – об'єм пор, заповнених водою всіх категорій.

Об'єм пор, заповнених водою різних категорій, розраховують за формулою:

$$P = P_{мг} + P_{нзв} + P_k,$$

де  $P_{мг}$  – об'єм пор, заповнених водою при максимальній гігроскопічності;  $P_{нзв}$  – об'єм пор, заповнених неміцнозв'язаною водою;  $P_k$  – об'єм пор заповнених капілярною водою.

Об'єм пор, заповнених міцнозв'язаною (максимально-гігроскопічною) водою, розраховують за формулою:

$$P_{мг} = (MГ \cdot d_v) : 1,5,$$



де  $MГ$  – максимальна гігроскопічність, % від маси ґрунту;  $d$  – щільність ґрунту,  $г/см^3$ ;  $1,5$  – щільність максимально гігроскопічної води.

Об'єм пор, заповнених неміцно зв'язаною водою, розраховують за формулою:

$$P_{нзв} = (BB - MГ) \cdot d_v : 1,25 ,$$

де  $BB$  – вологість в'янення, % від маси ґрунту;  $1,25$  – щільність неміцно зв'язаної води.

Отже, всі категорії вологості в сумі дають найменшу вологоємність тому об'єм пор, заповнених водою всіх категорій, можна розраховувати за формулою:

$$P = HB \cdot d_v ,$$

У польових умовах вологість ґрунту найчастіше буває нижчою за  $HB$ , тому розрахунки пористості, зайняті водою, слід проводити за формулою:

$$P = W \cdot d_v ,$$

де  $P$  – об'єм пор, зайнятих водою при польовій вологості, % від об'єму ґрунту;  $W$  – польова вологість ґрунту на даний момент часу, % від маси ґрунту;  $d_v$  – щільність ґрунту в той же момент часу,  $г/см^3$ .

#### **4.4. Визначення твердості ґрунту твердоміром Ю.Ю. Ревякіна**

Основною робочою частиною твердоміра служить плунжер, нагвинчений на нижній кінець штока, який за допомогою рукоятки крізь вимірювану пружину втискується у досліджуваний ґрунт. При цьому вимірювальна пружина стискується пропорційно величині опору ґрунту зминанню.

Характер заглиблення плунжера різко змінюється, коли він досягає підґрунтя, підорної подошви, дна борозни, або зустрічає каміння, корені дерев'янистих рослин, щільні брили чи пустоти в горизонтах ґрунту.

Твердомір має самописець для записів вимірювання величин зв'язаності ґрунту. Можлива довжина ортогональної діаграми 30 см відповідає робочому ходу штока у глибину. Величина максимальної ординати

діаграми – 50 мм. Діаграма з міліметрового паперу закладається на стойку твердоміра за допомогою притискувальної рамки. Олівець переміщається відносно діаграми вздовж руху плунжера в ґрунті і одночасно впоперек її відповідно стискуванню вимірювальної пружини. При цьому абсциса діаграми безпосередньо відповідає сантиметрам глибини ґрунтових горизонтів, а ордината – величині стискання пружини в мм.

Для отримання величини опору ґрунту  $P$  кг на плунжер у кожному горизонті його занурення (1,5,10,15,20,25 і 30 см) потрібно виміряти в мм відповідну даному горизонту ординату діаграми( $h$ ) і помножити її величину на калібр вимірювальної пружини( $n$ ) кг/мм. Тоді загальний опір ґрунту на плунжер буде дорівнювати  $P = h \cdot n$ , а твердість ґрунту відповідно:

$$T = \frac{h \cdot n}{S} = \frac{P}{S} ,$$

де  $P$  – загальний опір ґрунту на плунжер, кг;  $S$  – площа плунжера, см<sup>2</sup>.

Залежно від ступеня зв'язності досліджуваного ґрунту застосовують змінні плунжери. Для вимірювання твердості свіжооброблених ґрунтів використовують плунжер діаметром 3 см<sup>2</sup>, культурних необроблених – 2, а щільних і задернілих – 1 см<sup>2</sup>. Повторність вимірювання п'ятикратна. Одночасно відбирають зразки на вологість ґрунту.

За допомогою твердоміра можна визначити строкатість будови орного шару ґрунту, яка виникає за різного обробітку, або при проході ходових частин машинно-тракторних агрегатів. Для цього слід використовувати методику Г.В. Назаренка (1979), згідно з якою перпендикулярно до напрямку оранки (проходу ходових частин машинно-тракторних агрегатів) на глибині 1,10,20 і 30 см у 10 точках, через кожні 10 см визначають твердість ґрунту в 10-кратній повторності, середні значення відкладають на масштабній сітці, після чого точки з однаковими значеннями твердості з'єднують лініями. Про характер і закономірності у строкатості будови, яка викликана робочими органами ґрунтооброблюваних машин або рухом

ходових частин сільськогосподарських машин і тракторів, судять з розподілу на графіку ізоліній твердості.

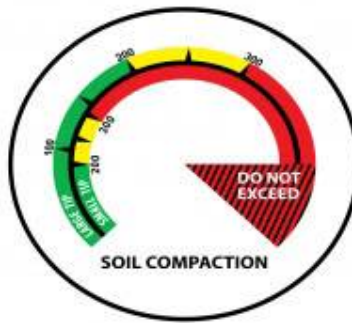
#### 4.5. Визначення твердості ґрунту пенетрометром

Пенетрометр - це сучасний прилад, що вимірює твердість ґрунту, який обладнано GPS-навігатором для з'ясування координат точок визначення і відбору зразків, а також можливістю накопичувати значну масу отриманих відомостей, запам'ятовувати їх і передавати на комп'ютер. На сьогодні є багато моделей таких приладів від різних виробників, але принцип їх роботи однаковий, який можна пояснити на прикладі пенетрометру WileSoil (фото 1).



**Фото 1. Пенетрометр WileSoil**

Тестер поставляється в комплекті з двома накінецьниками: діаметром 1,27 см для проведення вимірювань у твердому ґрунті і діаметром 1,91 см для проведення вимірювань в м'якому ґрунті. Для отримання достовірного результату проведуть кілька вимірів в одній і тій же зоні поля. На циферблаті приладу для кожного накінецьника є своя шкала (фото 2). Вона ґрунтується на одиниці виміру Psi - фунт на квадратний дюйм.



**Фото 2. Шкала пенетрометра**

- Зелений сегмент (0-14 кг/см<sup>2</sup>). Сприятливі умови зростання.
- Жовтий сегмент (14-21 кг/см<sup>2</sup>). Прийнятні умови зростання.
- Червоний сегмент (21 кг/см<sup>2</sup> і більше). Неприятливі умови для зростання.

#### 4.6. Визначення липкості

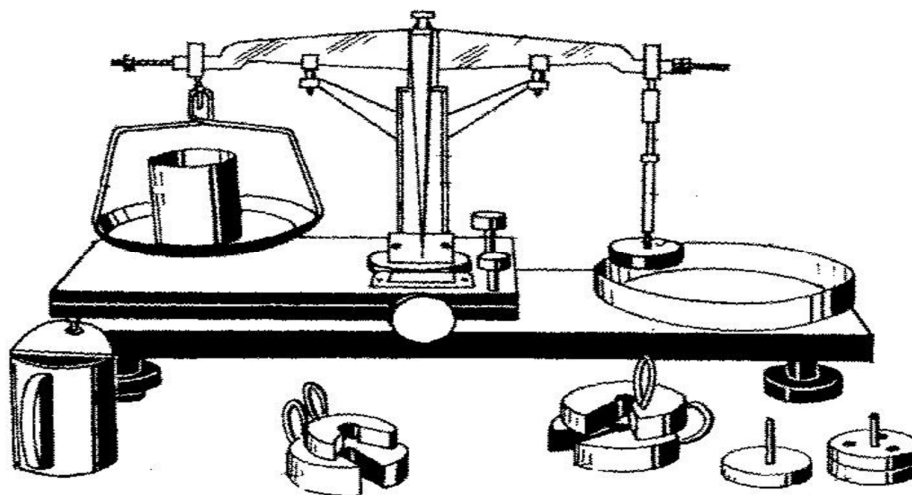
Для визначення липкості ґрунту найчастіше використовують прилад конструкції Н.А. Качинського (рис. 4.6.1). Прилад Качинського є модифікованими технічними терезами, права чашка яких замінена спеціальним підвісним стержнем, що закінчується диском площею 10 см<sup>2</sup>. Диск та стержень врівноважуються лівою чашкою терезів та алюмінієвим стаканчиком певної маси.

Визначати липкість можна у зразках ґрунту порушеної та непорушеної будови при різній вологості ґрунту, починаючи з вологості, яка відповідає капілярній вологоємності. Потім, підсушуючи ґрунт, аналіз повторюють при інших вологостях до припинення прилипання ґрунту до диска.

*Хід аналізу.* До зразка ґрунту притулюють диск нижньою стороною. Зверху на диск кладуть гирю, для того щоб покращити його контакт з ґрунтом. Через хвилину гирю знімають, а в стаканчик лівої чашки терезів насипають пісок до тих пір, поки диск не відірветься від ґрунту. Пісок зважують, ділять його вагу на площу диска і вираховують

липкість у  $\text{г/см}^2$ . Після визначення липкості з поверхні зразка беруть пробу на вологість.

За даними аналізу складають графік залежності липкості від вологості ґрунту. По осі ординат відкладають липкість ( $\text{г/см}^2$ ), по осі абсцис – вологість (%).



**Рис. 4.6.1. Прилад Качинського Н.А. для визначення липкості ґрунту**

#### **4.7. Визначення пластичності**

Пластичність залежить від гранулометричного, мінералогічного, хімічного складу ґрунту, складу ввібраних основ і виникає при певному діапазоні вологості, який характеризує верхній та нижній рубіж пластичності або межі пластичності. Вимірюють пластичність числом пластичності, яке є відношенням вологості ґрунту при верхньому та нижньому рубежі пластичності.

##### **Визначення верхнього рубежу пластичності за методом Бахтіна**

*Хід аналізу.* Зважують 25-30 г ґрунту, вільного від коріння, протертого товкачиком з гумовим наконечником і просіяного через сито з отворами 1 мм. Наважку переносять у фарфорову або металеву чашку діаметром 12 см, додають дистильованої води і ретельно перемішують

до пастоподібного стану. Після цього чашку або щільно закривають або ставлять у вологу камеру. Через 24 години пробу ще раз перемішують і гладенько розрівнюють по дну чашки шаром у 1 см. Ножом або шпателем проводять щілину, яка поділяє пробу навпіл. Щілина повинна мати ширину 2 мм, а біля поверхні 12 мм. Потім тричі сильно стукають по дну рукою або тричі кидають чашку з пробой з висоти 6 см. Якщо при третьому ударі обидві половинки проби зімкнулись на висоту 1 мм по довжині щілини 1,5-2 см, значить верхній рубіж пластичності або нижня межа текучості досягнуті. Після цього 10-15 г проби беруть для визначення вологості.

#### **Визначення верхнього рубежу пластичності за методом Васильєва**

*Хід аналізу.* На штатив поміщають полірований конус із нержавіючої сталі вагою 76 г. Висота конуса 25 мм і кут при вершині 30°. На відстані 10 мм від вершини є кругова мітка. До основи конуса прикріплений сталевий дріт, який зігнутий у на півколо з двома металевими кульками у якості балансиру. На основу штатива ставлять алюмінієвий стаканчик висотою 2 см і діаметром 4 см. Від власної ваги конус проникає в пасту. Якщо він проникає рівно на 10 мм, це означає, що вміст вологи в ґрунті відповідає верхньому рубежу пластичності. Якщо конус проникає глибше, значить ґрунт надто вологий, а якщо менше, ніж на 10 мм – необхідно додати води. Виміри проводять у трикратній повторності і різниця між ними не повинна перевищувати 2%. Вологість ґрунту визначають звичайним методом.

#### **Визначення нижнього рубежу пластичності за методом Аттенберга**

*Хід аналізу.* Ґрунтову масу, яка залишилась від попередніх досліджень, підсушують до тих пір, поки вся маса при розкочуванні між долонями рук не буде до них липнути. Отриману ґрунтову масу ретельно переминають. Невеликий шматочок ґрунту розкочують долонею на листку щільного глянцевого паперу або склі до утворення шнура діаметром 3 мм. Якщо при такій товщині шнур не розсипається, а

зберігає зв'язність і пластичність, то його знову переминають до тих пір, поки він не стане розсипатися, досягнувши товщини 3 мм.

Шматочки шнура, на які він розпався, кладуть в сушильний стаканчик і визначають вологість звичайним методом. Отримана вологість і є значенням нижнього рубежу пластичності. Виміри проводять у трикратній повторності і різниця між ними не повинна перевищувати 2%.

За різницею вологості ґрунту при верхньому і нижньому рубежі пластичності знаходять число пластичності.

#### 4.8. Визначення набрякання та зсідання ґрунту

Набрякання ґрунту залежить від гранулометричного, мінералогічного, хімічного складу ґрунту та складу ввібраних основ. Серед методів визначення ступеня набрякання ґрунту найбільш поширеним є метод Васильєва, при якому дослідний зразок ґрунту поміщають у металеве кільце між перфорованими пластинками. Ступінь набрякання фіксують індикатором (месурою) на приладі ПНГ (рис.

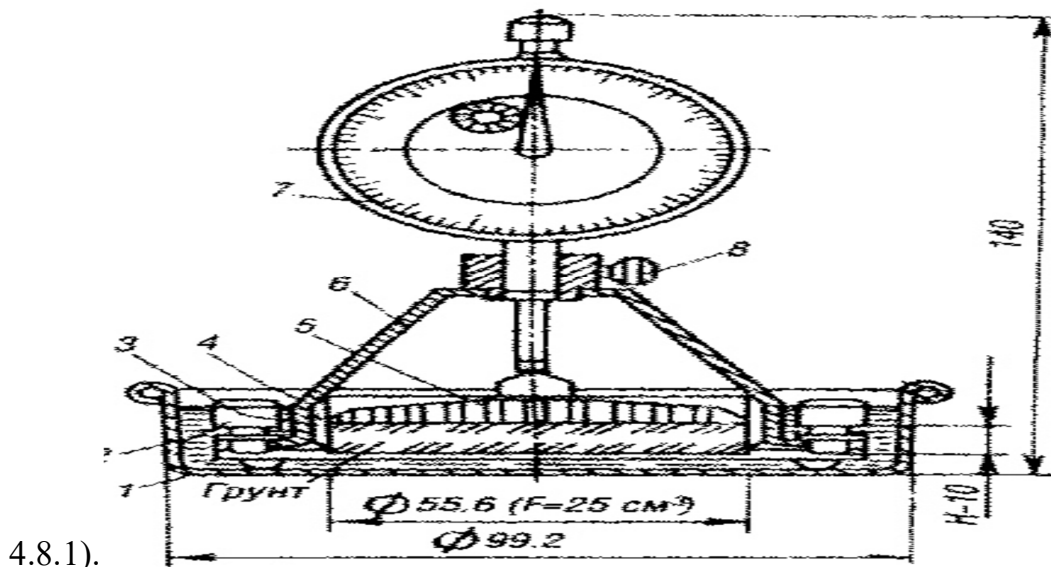


Рис. 4.8.1 Прилад для визначення набрякання ґрунту

1 – диск з перфорованим дінцем; 2, 8 – гвинти; 3 – металеве кільце; 4 – насадка; 5 – поршень; 6 – з'єднувальна дужка; 7 – індикатор-месура; 9 – ванночка; 10 – кришка до кільця

*Хід роботи.* Кільце з насадкою заповнюють ґрунтом шляхом поступового втискування у ґрунт. Кільце зі зразком виймають ножом, зрізають залишки і зачищують торцеві поверхні. Обережно відокремлюють від кільця насадку, а зразок акуратно зрізають по площині у рівень з краями кільця. Кільце зі зразком зважують, вдягають насадку і встановлюють на перфороване дінце диска, вкрите кружком фільтрувального паперу. Поверхню зразка зверху також вкривають фільтром і опускають на неї поршень. Закріплюють гвинтами скобу та встановлюють індикатор так, щоб його ніжка торкалась головки поршня.

Зібраний прилад поміщають у ванночку і записують показники індикатора на початок досліду. У ванночку наливають води так, щоб дінце на якому встановлене кільце було повністю затоплене. Відмічають час заливки води і слідкують за показниками месери, записуючи їх через 1,2,3,5,10,20,30,40,50 хвилин, 1 годину , далі через кожен годину протягом доби і насамкінець у наступну добу двічі на день (вранці та ввечері). Дослід вважається завершеним, якщо показники індикатора за останні дві доби різняться на 0,01 мм. Вода , що використовується у досліді , за складом має відповідати природній для даної місцевості або необхідно застосовувати дистильовану воду.

Після закінчення досліду прилад розбирають, кільце з набряклим ґрунтом поміщають у фарфорову чашку, зважують і висушують до постійної ваги в сушильній шафі при температурі 105-110 °С.

Для розрахунку ступеня набрякання використовують формулу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$$

де  $\Delta h$  - абсолютна деформація зразка, який вільно набряк в умовах неможливості бічного розширення;  $h_0$  - вихідна висота зразка з початковою вологістю.

Ступінь набрякання вимірюють у процентах або частках одиниці і за цим показником до ґрунтів , які набухають відносять ті , які мають  $\varepsilon \geq 0,04$



Зсідання визначають за величиною лінійної або об'ємної усадки та вологості, за якої припиняється усадка.

*Хід роботи.* Повітряно-сухий зразок ґрунту подрібнюють у ступці товкачиком з гумовим наконечником і просіюють крізь сито 0,5–1 мм. Підготовлений зразок змішують з водою до консистенції, яка відповідає верхньому рубежу пластичності, і витримують протягом доби в закритій посудині над водою (для повного набрякання). Перевіривши конусом Васильєва відповідність зволоженості верхньому рубежу пластичності, сирий ґрунт кладуть у металеву або з органічного скла прямокутну формочку розміром 5х3х2 см, змазавши стінки тонким шаром вазеліну (можна використовувати кришки від алюмінієвих бюксів). Поверхню ґрунту у формочці ретельно вирівнюють і роблять неглибокі діагональні канавки. Після цього ґрунт висушують на повітрі. Підсихаючи, ґрунт стискається і відстає від стінок формочки. Ґрунт виймають з формочки, фільтрувальним папером обережно знімають з його поверхні вазелін, кладуть ґрунт у сушильну шафу і висушують при температурі 105 °С до постійної маси.

Вимірюють об'єм формочки та довжину діагоналей сирого та сухого зразків ґрунту. Об'єм сухого зразка визначають методом гідростатичного зважування. Зсідання обчислюють за формулами :

$$I_y = \frac{l_1 - l_2}{l} \cdot 100$$

$$V_y = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100$$

$$W_y = W_1 \frac{100 \cdot (V_1 - V_2)}{P} \cdot 100,$$

де  $l_y$  – лінійне зсідання, %;  $V_y$  – об'ємне зсідання, %;  $W_y$  – вологість зсідання, %;  $l_1$  – довжина діагоналей сирого ґрунту (діагоналей формочки), см;  $l_2$  – довжина діагоналей ґрунту після зсідання, см;  $V_1$  – початковий об'єм ґрунту (об'єм формочки), см<sup>3</sup>;  $V_2$  – об'єм ґрунту після зсідання, см<sup>3</sup>;  $W_1$  – вологість при верхньому рубежі пластичності, %;  $P$  – маса сухого ґрунту після зсідання, г.

#### 4.9. Визначення вологості зерніння ґрунту за методом М.М. Годліна

На технічних терезах зважують 30 г повітряносухого ґрунту, просіяного крізь сито з діаметром отворів 1 мм. Переносять наважку у фарфорову чашку діаметром 10-12 см. До ґрунту з бюретки поступово (краплями) додають дистильовану воду і ретельно перемішують його скляною паличкою з оплавленим кінцем. Час від часу притискують паличкою до дна чашки і знову перемішують. При змішуванні ґрунту спочатку утворюються дрібні зернятка, які збільшуються потім до величини дрібної горошини. Це і буде ознака закінчення процесу зерніння ґрунтової маси.

Якщо ця межа перевищена, утворюються гладенькі блискучі грудочки. В цьому разі визначення вологості зерніння повторюють. Про межу зерніння судять за кількістю води, витраченої на цей процес, з урахуванням вмісту гігроскопічної вологи в ґрунті.

Вологість зерніння визначають за формулою:

$$W_z = \frac{P_v}{P_g} 100 + W_g \quad ,$$

де  $W_z$  – вологість зерніння, %;  $P_v$  – маса води, яка пішла на зерніння (кількість мл), г;  $P_g$  – маса повітряносухого ґрунту, г;  $W_g$  – вміст у ґрунті гігроскопічної вологи, %.

## РОЗДІЛ 5. ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ

### 5.1. Польова вологість ґрунту і методи її визначення

У ґрунті завжди міститься волога, кількість якої постійно змінюється у часі. Зміни ці залежать від співвідношення процесів надходження води в ґрунт з атмосферними опадами, поливними та ґрунтовими водами і витрачання її з ґрунту внаслідок фізичного випаровування, транспірації, стоку тощо. Інтенсивність даних процесів залежить від кліматичних умов, пори року, рельєфу місцевості, стану розвитку рослин, виробничої діяльності людини. Крім того, вміст вологи залежить і від властивостей самого ґрунту – гранулометричного та хімічного складу, структурності, щільності, пористості, вмісту органічних речовин та колоїдів, стану його поверхні, вологоємності, водопроникності, водопідйомної здатності.

Під вологістю розуміють вміст води в ґрунті в даний момент часу .

Ґрунтова волога – практично єдине джерело водозабезпечення наземних рослин. Від наявності її в ґрунті залежить ефективність добрив і хімічних меліорантів, час проведення та якість обробітку, строки сівби та поливів, і, як наслідок, продуктивність угідь, луків і пасовищ. Тому вивчення режиму вологості та розробка заходів його регулювання стосовно різних ґрунтів є невід'ємною частиною ґрунтово-генетичних, агрономічних і екологічних досліджень.

Для визначення вологості ґрунту використовують прямі і непрямі методи. Найбільш поширеним, доступним і точним є ваговий метод, який базується на висушуванні ґрунтового зразка в стандартних умовах. Нині додатково застосовують вологоміри-тензіометри, прилади з нейтронним випромінюванням та ін.

#### **Визначення польової вологості ґрунту ваговим методом**

У даному методі кількість води в ґрунті визначають за зменшенням маси вологого ґрунту при висушуванні його при температурі 105<sup>0</sup>С протягом 6-10 годин. Метод широко застосовують при вивченні динаміки

вміступольової вологи в ґрунті, а також у лабораторних дослідженнях (для розрахунку абсолютно сухої наважки, кількості води яку доливають при приготуванні витяжок з свіжих зразків ґрунту, тощо).

Для визначення польової вологості зразки ґрунту найчастіше відбирають з свердловин за допомогою бура. При цьому потрібно дотримуватись відповідних правил:

- в одну пробу не повинен потрапляти ґрунт з різних (суміжних) горизонтів, які різняться за гранулометричним та хімічним складом;
- відібрані зразки потрібно негайно герметизувати, якнайшвидше доставити в лабораторію і зважити;
- для меншого порушення рослин і ґрунту, при відборі зразків треба застосувати настили з дощок, рейок і т. п.

Залежно від завдання досліджень, визначення вологості ґрунту здійснюють по генетичних горизонтах, в окремих частинах орного шару або на глибину коренемісткого шару (1-2 м): при ґрунтово-меліоративних дослідженнях – до глибини підґрунтових вод; при глибокому їх заляганні – до 3 м. Визначення проводять за фазами розвитку рослин або у строки проведення агротехнічних заходів. В орному шарі повторність визначення 5 -кратна, до 1 м – 3-кратна, до 2 м – 2-кратна, глибше 2 м – однократна.

Відбір зразків здійснюють бурами різних конструкцій (Ізмаїльського, Качинського, Некрасова, Смертіна, Розанова та ін.). З бурів сучасних конструкцій, які випускаються серійно, найпоширеніший бур ґрунтовий БГ-50. Він складається з штанги, зйомної рукоятки і має два змінних циліндри діаметром 50 мм: один відкритий знизу – для важких ґрунтів (суглинки та глини); другий – закритий (в якому лопаті знизу переходять у коротку спіраль) – для сипучих (піщаних та супіщаних) ґрунтів. Робоча глибина буріння у БГ-50 становить 160 см.

Перед початком роботи рукоятку закріплюють на штанзі на потрібній висоті. Бур встановлюють на ґрунт вертикально і обертають рукояткою за ходом стрілки годинника, вдавлюючи в ґрунт. При цьому стежать за

глибиною його занурення за позначками, які нанесені на бурі через 5 або 10 см. Проби ґрунту беруть пошарово (0-5, 5-10, 10-20, 20-30 см і т.д.), в міру заповнення бур виймають із свердловини, швидко ножом обчищають його поверхню і вибирають зразок на фанеру або широку дошку. Зразок швидко перемішують і відбирають пробу у задалегідь зважений бюкс, заповнюючи його на 2/3 об'єму. Ґрунт у бюксі злегка ущільнюють, щоб зменшити його прилипання до кришки і втрати при відкриванні. Бюкс закривають, записують його номер до польового журналу і ставлять у спеціальний ящик, слідкуючи щоб він (ящик) не нагрівався надмірно на сонці.

Після закінчення буріння свердловину засипають і ретельно утрамбовують у ній ґрунт. Ящики з бюксами, заповненими ґрунтом, доставляють у лабораторію, стежачи щоб їх кришки були зверху. За таких умов ґрунт не прилипає до кришок.

*Хід аналізу.* Доставлені в лабораторію бюкси з ґрунтом розставляють на столі по порядку, кожний бюкс обтирають, відкривають, часточки ґрунту, які прилипли до кришки, струшують у бюкс, кришку перевертають, встановлюють у неї бюкс і зважують на техно-хімічних терезах з точністю до 0,01 г.

Зважені бюкси розставляють на полицях і, починаючи з верхньої, ставлять у сушильну шафу. Останню нагрівають до температури 105<sup>0</sup> С і висушують зразки до постійної маси. Ґрунт з підвищеним вмістом органічної речовини (торф, дернина, лісова підстилка) висушують при температурі не вище 90<sup>0</sup> С.

Бюкси з ґрунтом після висушування виймають з шафи і закривають кришками, охолоджують на столі до кімнатної температури і зважують. Контрольне зважування після 2-годинного повторного сушіння не повинне давати розходження маси понад 1% від попередньої величини.

Розрахунки вмісту вологи в ґрунті ведуть з точністю до 0,1% за формулою:

$$W = \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} \cdot 100 ,$$

де  $W$  – вологість ґрунту у вагових процентах;  $P_2$  – маса бюкса з вологим ґрунтом, г;  $P_3$  – маса бюкса з сухим ґрунтом, г;  $P_1$  – маса порожнього бюкса, г.

Коефіцієнт перерахунку результатів аналізу вологого ґрунту на сухий визначають за формулою:

$$K_w = \frac{100 + W}{100} ,$$

де  $W$  – вологість у відсотках від маси сухого ґрунту.

Для розрахунку маси сухого ґрунту ( $P_c$ ) за масою вологого ґрунту ( $P_v$ ) та вологості ( $W\%$ ) користуються формулою:

$$P_c = \frac{P_v \cdot 100}{100 + \%} , \quad \text{або} \quad P_c = \frac{P_v}{K_w} ,$$

При порівнянні вологості ґрунтів з різною щільністю, вміст води в них розраховують у відсотках від об'єму ґрунту. Тоді розрахунки ведуть за такою формулою

$$W_v = W_m \cdot d_v ,$$

де  $W_v$  – вологість у відсотках від об'єму ґрунту;  $d_v$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $W_m$  – вологість у відсотках від маси ґрунту.

У зв'язку з тим, що опади вимірюються в міліметрах водного стовпа, доцільно запаси води в ґрунті виражати в тих же одиницях. Для цього розрахунки ведуть за формулою

$$W, \text{ мм} = 0,1 \cdot W \cdot h \cdot d_v ,$$

де  $W$  – вологість у відсотках від маси ґрунту;  $h$  – глибина шару ґрунту, в якому визначають запас води, см;  $d_v$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

В агрономічній практиці запаси води в ґрунті виражають у тоннах або кубічних метрах на 1 га. У таких випадках величини вологості в міліметрах множать на коефіцієнт 10.

$$W, \text{ т/га або м}^3/\text{га} = 10 \cdot W, \text{ мм}$$

Коли потрібно знати, до якої міри ґрунт насичений водою, або порівняти вміст вологи в ґрунтах з різною вологоємністю застосовують показник *відносної вологості*. Відносна вологість – це відношення вмісту вологи в даний момент часу до кількості води, яка насичує ґрунт до найменшої вологоємності. Так, якщо в даний момент вологість ґрунту становить ( $W$ ), а найменша вологоємність ( $НВ$ ), то відносна вологість буде дорівнювати:

$$W_{відн} = \frac{100 \cdot W}{НВ} ,$$

За показниками відносної вологості встановлюють ступінь забезпечення рослин водою в певний період часу. Відомо, що оптимум вологості для нормального росту і розвитку різних груп сільськогосподарських культур неоднаковий. Так, для ярих зернових, зернобобових, картоплі і кукурудзи він становить 70-80%, для озимих пшениці і жита, ячменю, цукрових буряків та соняшнику – 60-70%, а тамарикс і люцерна добре ростуть при зволоженні близько 60% від найменшої вологоємності ґрунту. При вирощуванні рису необхідне повне затоплення ґрунту (табл. 41).

**Таблиця 41.**

**Оптимум зволоження ґрунту для різних рослин (за В.Ф. Вальковим)**

Вміст води в ґрунті, % від НВ				
>100	100-80	80-70	70-60	<60
Рис	М'ята перцева Огірки Чай	Картопля Гречка Горох Капуста Конюшина Овес Кукурудза Соя	Цукровий буряк Пшениця Жито Ячмінь Соняшник	Тамарикс Люцерна

## Органолептичний метод визначення вологості ґрунту

В агрономічній практиці часто виникає потреба термінового визначення вологості ґрунту безпосередньо в польових умовах. При відсутності спеціального обладнання визначають вологість органолептично, користуючись шкалою С.В. Астахова (табл. 42). В даному методі ґрунт випробують на дотик і здатність скочуватися в кульку і шнур.

Таблиця 42.

### Шкала візуального визначення вологості ґрунту

Ґрунт	Орієнтовний вміст вологи, % від маси абсолютно сухого ґрунту			
	15	15-20	20-25	25-30
Легкосуглинковий	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
Середньосуглинковий	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
Важкосуглинковий 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



З метою застосування проведення обробітку, оцінку вологості ґрунту рекомендується проводити за шкалою Гідрометслужби України (табл. 43). Але слід пам'ятати, що органолептичний метод дає лише приблизні дані хоч і досить широко застосовується в агрономічній практиці.

Таблиця 43.

### 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	Польові роботи майже неможливі. Машини грузнуть у ґрунті; рослини страждають від надмірної кількості води
Дуже зволожений	30-20	Липкий	Польові 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'якопластичний	Обробіток ґрунту ведеться з максимальною продуктивністю, якість роботи відмінна, для рослин і обробітку ґрунту даний ступінь зволоження найбільш сприятливі
Слабо зволожений	12-7	Твердопластичний	Обробіток ґрунту потребує значних тягових зусиль, але дає задовільні результати, рослини задовільно забезпечені водою
Сухий	<7	Твердий або сипучий	Глинистий ґрунт при обробітку відколюється брилами по тріщинах, інколи плуг не входить у ґрунт; обробіток потребує значних тягових зусиль; при оранці піщаного ґрунту скиба розсипається але не обертається; рослини відчувають нестачу води

Для одержання вірогідних даних про вміст вологи в ґрунті слід застосовувати стандартний ваговий, або сучасні інструментальні експрес-методи.

## 5.2. Визначення гігроскопічної вологості

Ґрунт у повітряносухому стані завжди містить деяку кількість води. Це пов'язано з тим, що тверда фаза його здатна адсорбувати пароподібну вологу з повітря і міцно утримувати її на поверхні своїх часток силами

молекулярного тяжіння. Здатність ґрунту адсорбувати пароподібну воду з повітря називають *гігроскопічністю ґрунту*, а сорбовану воду – *гігроскопічною вологою*.

Гігроскопічна вода для рослин недоступна. Кількість її в ґрунті залежить від:

- генетичних особливостей;
- гранулометричного складу;
- вмісту гумусу;
- наявності гігроскопічних солей;
- стану навколишнього середовища (температури і вологості повітря).

Чим вища дисперсність ґрунту, чим більше в ньому органо-мінеральних колоїдів і чим вища їх гідрофільність, тим більше в ґрунті міститься гігроскопічної вологи. З іншого боку, чим вище відносна вологість повітря, тим більше в ґрунті гігроскопічної води. Підвищення температури повітря при однаковій вологості зменшує вміст гігроскопічної вологи в ґрунті.

Залежно від гранулометричного складу ґрунту вміст гігроскопічної вологи змінюється в таких інтервалах: піски 0,5-1,5%; легкі, середні та важкі суглинки – відповідно 1,5-3,0; 2,5-4,0; 3,5-6,0; глини 6,0-8,0%. У торфовищ цей показник коливається в межах 18-22% від сухої маси.

У зв'язку з тим, що кількість гігроскопічної води в різних ґрунтах і різних генетичних горизонтах одного й того ж ґрунту неоднакова, слід враховувати її вміст при проведенні аналізів ґрунту, а обчислення результатів проводити на абсолютно сухий ґрунт, тобто ґрунт, який не містить гігроскопічної води. Тоді отримують порівнювані результати.

Найбільш поширеним методом визначення гігроскопічної вологи є ваговий. Суть його полягає у визначенні кількості води в повітряносухому ґрунті за втратами маси зразка при висушуванні його при температурі 100-105<sup>0</sup> С протягом 6-10 годин.

*Хід аналізу.* Беруть просушений скляний або металевий бюкс з притертою кришкою і зважують на аналітичних терезах з точністю до 0,001 г. В бюкс відважують 3-5 г повітряно-сухого ґрунту.

Відкритий бюкс з ґрунтом ставлять у сушильну шафу і висушують до постійної маси при температурі 100-105<sup>0</sup> С протягом 6-10 годин. Бюкс виймають із сушильної шафи, закривають кришкою, охолоджують в ексикаторі і зважують.

Для одержання постійної маси ґрунту бюкс знову ставлять у сушильну шафу ще на 30 хвилин і, якщо після охолодження і зважування немає різниці між результатами першого і другого зважувань, висушування ґрунту вважають закінченим.

Вміст гігроскопічної вологи в ґрунті з точністю до 0,01% розраховують за формулою :

$$W = \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} \cdot 100 \quad ,$$

де W – вологість ґрунту у вагових процентах; P<sub>2</sub> – маса бюкса з вологим ґрунтом, г; P<sub>3</sub> – маса бюкса з сухим ґрунтом, г; P<sub>1</sub> – маса пустого бюкса, г.

Для розрахунку кількості речовин, які містяться в абсолютно сухому ґрунті, користуються коефіцієнтом гігроскопічності (КГ). Фізичне значення його полягає в тому, що він вказує скільки грамів повітряносухого ґрунту треба взяти, щоб отримати 1 г абсолютно сухого. Коефіцієнт гігроскопічності розраховують за формулою:

$$K_w = \frac{100 + W}{100}$$

### **5.3. Визначення максимальної гігроскопічності**

*Максимальна гігроскопічність (МГ)* – це найбільша кількість вологи, яку сухий ґрунт може увібрати з повітря, майже повністю насиченого парами води (при відносній вологості 96-98%). Величина МГ залежить від

гранулометричного складу, кількості та якості колоїдів, вмісту гумусу та питомої поверхні ґрунту. Важкі фракції з великою питомою поверхнею, високою кількістю гідрофільних колоїдів і підвищеним вмістом гумусу мають значно більшу МГ, ніж легкі. В мінеральних ґрунтах величина МГ коливається в межах від 0,5-1,0% у піщаних відмінах до 10-15% у глинистих. У торфах МГ становить 30-40% (табл. 44).

Таблиця 44.

**Максимальна гігроскопічність ґрунтів різного гранулометричного складу і торфів (за С.А. Веріго, Л.О. Разумовою)**

Гранулометричний склад	МГ, % від маси ґрунту
Пісок	0,5-1,0
Супісок	1,0-3,0
Суглинок: легкий	3,0-5,0
середній	4,0-7,0
важкий	6,0-9,0
Глина	9,0-15,0
Торф низовий	30,0-40,0

Вода в ґрунті при вологості, яка відповідає МГ, міцно утримується на поверхні ґрунтових часток і тому зовсім недоступна для рослин та мікроорганізмів. Величину МГ використовують для розрахунків вологості в'янення (ВВ). Для цього показник МГ множать на 1,5 або 1,34.

Класичним методом визначення МГ є метод Мітчерліхта, вдосконалений Н.А. Качинським (1930), який заснований на насиченні повітряносухої наважки ґрунту водяною парою у вакуумі над 10%-ним 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 (1936), в якому замість кислоти застосовується насичений розчин сірчаноокислого калію, відносна пружність водяної пари над яким дорівнює 98%.

*Визначення максимальної гігроскопічності ґрунтуза методом Ніколаєва Хід аналізу.* У висушений і зважений на аналітичних терезах скляний бюкс діаметром 5 і висотою 3 см вміщують середню пробу досліджуваного ґрунту, розтертого і просіяного крізь сито з отворами діаметром 1 мм. Для глинистих і суглинкових ґрунтів наважка становить 10-15, а для піщаних та супіщаних - 15-20 г.

Відкриті бюкси з ґрунтом (визначення здійснюють у двократній повторності) розміщують на фарфоровій підставці в ексикаторі, на дно якого наливають насичений розчин сірчанокиислоґо калію (110-130 г солі на 1 л води) з нерозчиненими кристалами солі. Даний розчин створює в ексикаторі відносну вологість повітря 98%. Ексикатор щільно закривають кришкою, краї якої змащують вазеліном і розміщують у темному місці з найменшими коливаннями температури. Через 3-5 днів ексикатор відкривають, бюкси закривають кришками, зважують і знову ставлять в ексикатор. Наступні зважування повторюють кожні 3-5 днів до постійної маси, або доки результати попереднього і наступного зважувань будуть різнитися не більше ніж на 0,01 г. Насичення продовжується залежно від умов протягом 2-4 тижнів. Після насичення ґрунтових зразків у них визначають звичайним висушуванням вміст вологи, яка і буде відповідати величині МГ. Розрахунки ведуть за формулою:

$$W = \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} \cdot 100 ,$$

де W – вологість ґрунту у вагових процентах; P<sub>2</sub> – маса бюкса з вологим ґрунтом, г; P<sub>3</sub> – маса бюкса з сухим ґрунтом, г; P<sub>1</sub> – маса пустого бюкса, г.

Приблизну величину МГ можна визначити розрахунковим методом. Відомо, що в мінеральних ґрунтах з низьким і середнім вмістом гумусу МГ добре корелює з гранулометричним складом. Н.М. Афанасьєва та В.П. Панфілов запропонували для визначення МГ рівняння регресії:

$$MГ = 0,3083 \cdot K - 1,0965 ,$$

де МГ – максимальна гігроскопічність, % від маси ґрунту; К – вміст мулу в ґрунті, %.

За величиною МГ розраховують вологість в'янення рослин (ВВ) за формулою:

$$BB = 1,5 \cdot MG$$

За величиною МГ можна визначити питому поверхню ґрунту (S, м<sup>2</sup>/г). розрахунки ведуть за формулою:

$$S = 4 \cdot MG ,$$

де МГ - максимальна гігроскопічність, % від маси ґрунту.

#### 5.4. Визначення вологості в'янення рослин

Вологістю в'янення рослин (ВВ) називають вологість, при якій рослини набувають ознак стійкого в'янення і перенесення їх у сприятливі умови (атмосферу, насичену парами води) не відновлює тургору листків, тобто не припиняє в'янення. Отже, ВВ характеризує нижню межу вмісту в ґрунті продуктивної для рослин вологи, що має велике значення для ґрунтової, агрохімічної та агро меліоративної характеристик ґрунту.

Величина ВВ залежить від гранулометричного складу ґрунту, вмісту гумусу і виду рослин. Чим важчий ґрунт і чим більше в ньому гумусу, тим вища ВВ. У піщаних ґрунтах ВВ не перевищує 1,5%, в суглинкових вона коливається від 3,5 до 12, на глинистих досягає 20, а на торфях перевищує 50% від маси сухого ґрунту (табл. 45).

Таблиця 45.

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

Гранулометричний склад	ВВ, % 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,-50,0

Визначають ВВ за величиною МГ або методом обезводнювання, чи безпосереднім вирощуванням проростків рослин у стаканчиках і доведенням їх до в'янення. Біологічний метод вважають найбільш вірогідним.

#### *Визначення вологості в'янення методом проростків*

*Хід аналізу.* На дно алюмінієвого стакана висотою 6-7 см, діаметром 4 см насипають грубозернистий пісок шаром 1 см. У стакан вставляють скляну трубку довжиною 8-9 см і заповнюють майже до верху стакана повітряносухим ґрунтом, просіяним крізь сито з отворами діаметром 1 мм (на це витрачається 40-60 г ґрунту). В стакан висівають 4-5 зерен пророслого ячменю. Ґрунт зволожують через трубку до появи капілярної води на поверхні ґрунту.

Стакан до появи сходів витримують у термостаті з температурою 20-25<sup>0</sup> С, або в шафі при кімнатній температурі. Коли у проростків з'являється перший листок, у кожному стакані залишають по 3 однаково розвинених рослини. Стакани ставлять у світле приміщення, але не на прямому сонячному світлі і тримають при кімнатній температурі. Воду, яка випаровується, поповнюють за вагою, щодня доливаючи її через трубку.

Коли другий листок стане більшим ніж перший, рослини поливають останній раз і заливають поверхню ґрунту розплавленою, але охолодженою сумішшю парафіну і технічного вазеліну (за масою 4:1), а трубку закривають ватним тампоном. Для газообміну в застиглій суміші роблять декілька проколів шпилькою.

У момент початку в'янення стакани переносять у вологу камеру (ексикатор з водою на дні), в якій повітря насичене водяною парою. Якщо тургор у рослин за ніч відновлюється, то їх знову виставляють у світле приміщення, доки вони не досягнуть стійкого в'янення. Вважають, що ґрунт досяг ВВ, коли тургор у рослинах не відновлюється після 12-годинного перебування їх в атмосфері, насиченій водяною парою. Тоді рослини з грудкою ґрунту виймають зі стакану, відкидають парафінову

кірку і шар ґрунту товщиною 1–1,5 см. Зразок кладуть у фарфорову чашку, нижній шар ґрунту і піску відкидають, виймають рослини і насіння. Очищений ґрунт висипають у той же стакан і визначають вологість, яка і відповідатиме вологості в'янення рослин.

*Визначення вологості в'янення методом обезводнювання  
за Францессоном*

В.А. Францессон (1951) запропонував визначати ВВ обезводнюванням капілярно-зволоженого зразка ґрунту розчином сірчаної кислоти, що на думку автора, більше відповідає природним умовам.

*Хід аналізу.* Повітряносухі зразки ґрунту капілярно насичують водою протягом двох тижнів, або відбирають у полі вологі зразки ґрунту. При високій польовій вологості зразки відразу потрапляють на аналіз. У заздалегідь зважені бюкси беруть наважки вологого ґрунту масою 3 г. Бюкси розміщують на фарфоровій підставці у вакуум-ексикаторі, на дно якого наливають 10%-ний розчин сірчаної кислоти. Ексикатор щільно закривають кришкою, вінця якої змащують вазеліном. В ексикаторі створюють розрідження 2,25–3,82 кПа за допомогою масляного або водоструминного насоса. Ексикатор повинен бути перевірений на міцність та герметичність, а всі роботи з ним слід проводити в захисних окулярах. Ексикатор треба накривати тканиною.

Через 2–3 дні його відкривають, бюкси зважують, замінюють 10%-ний розчин кислоти на 3%-ний. Бюкси знову ставлять в ексикатор. За таких умов ґрунт поглинає деяку кількість водяної пари. Операцію повторюють до встановлення постійної маси зразка над 3%-ним розчином сірчаної кислоти. Далі визначають вміст вологи в ґрунті ваговим методом.

Визначена даним методом величина вологості в'янення приблизно в 1,5 раза перевищує МГ, визначену зволоженням повітряносухого ґрунту над 10%-ним розчином сірчаної кислоти і відповідає ВВ, визначеній методом проростків.



### 5.5. Визначення найменшої вологоємності

*Найменша вологоємність* (НВ) – це найбільша кількість капілярно-підвищеної вологи, яку може утримувати ґрунт після зволоження і вільного стікання гравітаційної води. Терміну НВ відповідають такі терміни: польова вологоємність (ПВ), загальна вологоємність (ЗВ), гранично польова вологоємність (ГПВ). Останній термін особливо широко використовується в агрономічній практиці при меліорації.

НВ залежить головним чином від гранулометричного і хімічного складу ґрунту, його структурності, щільності та пористості. Ґрунти глинистого гранулометричного складу мають більшу величину НВ (350-400 мм/га у метровому шарі), а піщані та супіщані ґрунти меншу (200-250мм). Ґрунти з добре розвинутою грудочкувато-зернистою структурою мають середні показники НВ – 250-300мм/га для метрового шару, у безструктурних ґрунтах величина НВ більша. В таблиці 46 наведено величини НВ ґрунтів залежно від гранулометричного складу.

НВ вимірюють у відсотках від маси сухого ґрунту, від об'єму ґрунту, від пористості, в міліметрах і кубічних метрах на 1 га.

НВ є важливою характеристикою водних властивостей ґрунту. В природі вона спостерігається після рясних опадів, чи в період сніготанення. При НВ ґрунт містить максимальну кількість вологи, доступної рослинам. Різниця між НВ і ВВ характеризує діапазон активної вологи (ДАВ) або максимально можливі запаси доступної вологи (ММЗДВ). Отже, можна записати таке рівняння:

$$ДАВ = НВ - ВВ ,$$

де НВ – найменша вологоємність; ВВ – вологість в'янення.

Показники НВ використовують для розрахунку зрошувальних норм на зрошуваних землях, а також промивних норм для засолених ґрунтів.

Норми зрошення визначають за формулою

$$H = НВ - W ,$$

де H – норма зрошення, м<sup>3</sup>; НВ – найменша вологоємність, м<sup>3</sup>; W – запас вологи в ґрунті, м<sup>3</sup>.

Таблиця 46.

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

Гранулометричний склад	Найменша вологоємність, % від пористості		Пористість, % 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	65-75	40-45
середній	60-70	75-85	45-50
важкий	70-80	85-90	45-50
Глина	80-90	90-95	50-60

Промивні норми розраховують за формулою

$$H_n = HB - W + nHB,$$

де  $H_n$  – промивна норма, м<sup>3</sup>;  $n$  – коефіцієнт, який залежить від ступеня засоленості ґрунту та інших факторів.

Оцінку  $HB$  здійснюють за шкалою Н.А. Качинського (табл. 47).

Таблиця 47.

**Оцінка найменшої вологоємності**

Важкі за гранулометричним складом ґрунти		Оцінка	Легкі за гранулометричним складом ґрунти
$HB$ , % від маси сухого ґрунту			
40-50		Найкраща	Культурний піщаний ґрунт в орному шарі має вологоємність 20-25%
30-40		Добра	Для польових культур придатні піски з вологоємністю не менше 10%
25-30 <25		Задовільна Незадовільна	Для лісових культур придатні піски з вологоємністю не менше 3-5%

## 5.6. Визначення капілярної вологоємності

*Капілярна вологоємність* (КВ) –найбільша кількість капілярно-підпертої води, яка може утримуватись менісковими силами в шарі ґрунту, що знаходиться в межах капілярної торочки.

Величина КВ залежить від наступних властивостей ґрунту:

- гранулометричного складу;
- структурності;
- щільності;
- пористості;
- відстані ґрунтового шару над рівнем підґрунтових вод.

Безпосередньо над дзеркалом підґрунтових вод КВ майже не відрізняється від повної вологоємності (ПВ), а на верхній межі капілярної торочки – дорівнює НВ. Тому КВ не визначається однозначно, а є функцією від висоти над рівнем підґрунтових вод.

КВ ґрунту характеризується кривою розподілу вологи в капілярній торочці (КТ), починаючи від дзеркала підґрунтових вод і закінчуючи верхньою межею торочки. Для знаходження капілярної кривої необхідно виконати польові визначення вологості ґрунту до дзеркала підґрунтових вод. При глибокому заляганні КТ, коли коріння рослин до неї не проникає, визначення можна вести майже круглий рік, за винятком періоду стікання гравітаційної води. За умов близького залягання КТ визначення здійснюють тоді, коли з КТ не відбувається помітної десукції вологи і до неї не стікає гравітаційна вода, тобто через місяць після сніготанення, або в кінці осені. Визначення краще проводити на ділянках чистого пару.

Після того, як визначено вологість, яка відповідає КВ, креслять капілярну криву на міліметровому папері і на той же графік накладають криву НВ того самого ґрунту. Точка перетину кривих буде відповідати верхній межі КТ.

Визначення проводять у зразках порушеної і непорушеної будови. Зразки ґрунту непорушеної будови відбирають спеціальним буром Некрасова або Качинського безпосередньо на польових ділянках. Для визначення застосовують металеві циліндри висотою 5 або 10 см; об'ємом 100, 200, 500 і 1000 см<sup>3</sup> з сітчастим дном.

*Хід аналізу.* Перед виходом у поле на сітчасте дно кладуть кружальце фільтрувального паперу, змочують його дистильованою водою, надівають сітку на циліндр і зважують на технічних терезах з точністю до 0,01 г. У полі знімають сітку, циліндр вставляють у буровий патрон і відбирають пробу ґрунту буром на потрібній глибині. Паралельно відбирають пробу для визначення вологості ґрунту.

Після відбору проби циліндр виймають з бурового патрона, закривають кришками і переносять до лабораторії. Обережно знімають нижню кришку, надівають сітку з фільтрувальним папером, знімають другу кришку і зважують циліндр з ґрунтом, папером та сіткою.

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

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

Розраховують капілярну вологоємність за формулою:

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

де  $KB$  – капілярна вологоємність, % від маси ґрунту;  $P_2$  – маса ґрунту в циліндрі після насичення, г;  $P_3$  – маса сухого ґрунту в циліндрі, г.

Масу сухого ґрунту розраховують за формулою

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

де  $P_1$  – маса ґрунту при польовій вологості, г;  $W$  – польова вологість ґрунту, % від маси ґрунту.

### **5.7. Визначення повної вологоємності**

*Повна вологоємність (ПВ)* – найбільша кількість вологи, яка може міститися в ґрунті при повному насиченні всіх пор водою, за винятком пор із защемленим повітрям, які складають не більше 5-8 % від загальної пористості. Отже, ПВ кількісно відповідає пористості ґрунту.

Стан вологості, близький до ПВ, характерний для горизонтів підґрунтових вод болотних і заболочених ґрунтів. У ґрунтах автоморфного ряду вологість на рівні ПВ виникає періодично: після весняного сніготанення, або під час злив. У таких випадках ПВ може спостерігатися в усьому профілі ґрунту, або нижній чи верхній його частинах.

Величина ПВ залежить від гранулометричного складу ґрунту, його структурності та пористості і коливається в межах 40-50%, знижуючись інколи до 30, або підвищуючись в окремих випадках до 80% від об'єму ґрунту.

Визначається повна вологоємність лабораторним або розрахунковим методами.

#### *Лабораторний метод*

Для визначення ПВ використовують той же зразок ґрунту, в якому визначали капілярну вологоємність.

*Хід аналізу.* Циліндр з ґрунтом ставлять у кристалізатор на скляні палички, наливають воду з таким розрахунком, щоб вона досягла рівня ґрунту в циліндрі і залишають на одну добу. За цей час вода заповнює всі пори ґрунту. Потім, не виймаючи циліндр з води, його зверху щільно закривають кришкою, перевертають, виймають з води, обтирають зовнішні

стілки фільтрувальним папером і зважують. Для перевірки повноти насичення циліндр ще на добу ставлять у кристалізатор і повторно зважують. Розраховують повну вологоємність за формулою

$$\hat{P}_V = \frac{100 \cdot (D_2 - D_3)}{D_3},$$

де  $\hat{P}_V$  – повна вологоємність, % від маси ґрунту;  $P_2$  – маса ґрунту в циліндрі після насичення, г;  $P_3$  – маса сухого ґрунту в циліндрі, г.

Масу сухого ґрунту розраховують за формулою

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

де  $P_1$  – маса ґрунту при польовій вологості, г;  $W$  – польова вологість ґрунту, % від маси ґрунту.

#### *Розрахунковий метод*

Повна вологоємність за величиною загальної пористості:

$$P_V = P_{zag} = \left(1 - \frac{d_v}{D}\right) \cdot 100, \text{ \% від об'єму ґрунту;}$$

$$P_V = \frac{P_{zag}}{d_v}, \text{ \% від маси сухого ґрунту,}$$

де  $D$  – щільність твердої фази ґрунту, г/см<sup>3</sup>;  $d_v$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

#### **5.8. Практичне застосування даних про вологість та водні властивості ґрунту**

Дані про вміст води в ґрунті самі по собі ще не дозволяють робити висновки про забезпеченість рослин водою. Вони лише характеризують зміни вмісту води в просторі та часі. Практичного значення вони набувають тоді, коли аналізуються разом з водно-фізичними властивостями ґрунту.

Відомо, що не вся вода, яка міститься в ґрунті, доступна рослинам. Тому в агрономічному плані практичне значення має лише запас продуктивної води, яка може бути засвоєна рослинами. *Продуктивною водою* називають всю кількість води в ґрунті понад вологості

в'янення. Тільки при наявності її рослини можуть рости. Розраховують вміст продуктивної вологи в ґрунті за формулою:

$$W_{np} = W_t - W_{вв} ,$$

де  $W_{np}$  - запас продуктивної вологи в ґрунті, мм;  $W_t$  - загальний запас води в ґрунті на даний момент, мм;  $W_{вв}$  - запас води в ґрунті, який відповідає вологості в'янення, мм.

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

$$ДАВ = НВ - ВВ,$$

Проте в діапазоні від ВВ до НВ не вся волога однаково легко засвоюється рослинами. Найбільш доступною вважається вода в діапазоні від ВРК до НВ, а в діапазоні від ВВ до ВРК вона менш доступна. Це слід враховувати при розрахунках норм вегетаційних поливів.

Практичне значення має показник дефіциту вологи (ДВ) в ґрунті. Під дефіцитом вологи в ненасичених водою ґрунтах розуміють різницю між НВ і фактичною вологістю в даний момент ( $W_t$ ):

$$W_{дв} = W_{нв} - W_t$$

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

На практиці ДВ по шарах розраховують за формулою

$$W_{дв} = W_{нв} - W_t \cdot h \cdot d_v ,$$

де  $W_{дв}$  - дефіцит вологи, т/га;  $W_{нв}$  - найменша вологоємність ґрунту, % відмаси ґрунту;  $W_t$  - польова вологість, % відмаси ґрунту;  $h$  - розрахунковий шар ґрунту, см;  $d_v$  - щільність розрахункового шару ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Розрахунок норми поливу здійснюють за формулою

$$H_n = W_{дв} \cdot h \cdot d_v ,$$

де  $Нп$  – норма поливу, т/га;  $h$  - розрахунковий шар ґрунту, см;  $d_v$  - щільність розрахункового шару ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Важливою агрономічною характеристикою є запаси продуктивної вологи в орному шарі ґрунту на період посіву культур, а в подальшому в метровому шарі, де розміщується до 90-95% коренів сільськогосподарських культур. Тому спочатку розраховують запаси продуктивної вологи по 10-сантиметрових шарах до глибини 1 м за формулою:

$$W_{np} = \frac{(W_t - W_{вв}) \cdot h \cdot d_v}{10} ,$$

де  $W_{np}$  - запас продуктивної вологи, мм;  $W_t$  - польова вологість на даний момент часу, % від маси ґрунту;  $W_{вв}$  - вологість в'янення, % від маси ґрунту;  $h$  - розрахунковий шар, см;  $d_v$  - щільність розрахункового шару, г/см<sup>3</sup>.

Далі встановлюють запаси продуктивної вологи в орному (0-20 см) і метровому (0-100см) шарі ґрунту за формулами:

$$\Sigma W_{np} = W_{0-10} + W_{10-20} ,$$

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

Оцінку запасів продуктивної вологи в ґрунті здійснюють за шкалою (табл. 48).

Таблиця 48.

### Шкала оцінки запасів продуктивної вологи в ґрунті

Вміст води, мм	Оцінка запасів продуктивної вологи
<b>У шарі 0-20 см</b>	
>40	Добрі
40-20	Задовільні
<20	Незадовільні
<b>У шарі 0-100см</b>	
>160	Дуже добрі
160-130	Добрі
130-90	Задовільні
90-60	Низькі
<60	Дуже низькі

Кількість продуктивної вологи визначає тип клімату ґрунту в період вегетації рослин (табл. 49), який є провідним фактором їх продуктивності.



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

Запас продуктивної вологи, мм		Клімат ґрунту
в орному шарі	в метровому шарі	
>50	>200	Надлишково вологий
30-50	150-200	Вологий
20-30	100-150	Помірно вологий
10-20	50-100	Недостатньо вологий
<10	<50	Сухий

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

Зміни запасів продуктивної вологи протягом зимового періоду описуються такими рівняннями:

$$\text{для районів зі стійкою зимою} \\ \Delta W = 0,115 \cdot r + 0,56 \cdot d - 20$$

$$\text{для районів з нестійкою зимою} \\ \Delta W = 0,21 \cdot r + 0,62 \cdot d - 33,$$

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

Очікувані запаси продуктивної вологи в ґрунті навесні будуть дорівнювати:

$$W_{вес} = W_{ос} + \Delta W$$

При інтерпретації даних про вологість ґрунту, важливе значення має характер представлення. Результати великої кількості визначень вологості,

якими супроводжуються більшість польових дослідів, часто представляють у формі громіздких таблиць, які важко читаються. Тому, поряд з табличною формою подачі матеріалів (коли кількість визначень незначна), застосовують відповідні способи графічного зображення даних: профільні криві, хроно- і топоізоплети вологості, графіки динаміки вологозапасів тощо.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрохимические методы исследования почв. - М.: Наука, 1975.- 656с.
2. Атлас почв Украинской ССР/ Под ред. Н.К.Крупского и Н.И. Полупана. – К.: Урожай, 1979. – 178с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв // А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина ,— 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986.- 416 с.
4. Вальков В.Ф. Почвенная экология сельскохозяйственных растений. // А.Ф. Вальков.-- М.: Агропромиздат, 1986.- 208 с.
5. Веремеєнко С.І. Еволюція та управління продуктивністю ґрунтів Полісся України (Монографія) С.І. Веремеєнко , -Луцьк,-1997,-288 с.
6. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага.// С.А. Вериго, Л.А.Разумова.-- Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 328 с.
7. Вітвіцький С.В. Вплив способів обробітку чорноземів на гуміфікацію рослинних решток і гною. Автор. канд.. дисер. К.:УДАУ, 1992.-28 с.
8. Вітвіцький С.В. Вплив способів обробітку ґрунту на гуміфікацію рослинних решток та гною / С.В. Вітвіцький , -Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та методологія викладання, К.: НУБіП,- 2012,- с. 33-38
9. Вітвіцький С.В., Богданович Р.П., Капштик М.В., Пляха М.Г. Ґрунтознавство з основами геології/ С.В. Вітвіцький, Р.П. Богданович, М.В. Капштик, М.Г. Пляха.- К.: НУБіП.- 2017.- 489 с.
10. Вітвіцький С.В. Органічна речовина чорнозему типового в природних і культурних екосистемах / С.В. Вітвіцький.- Харків,- Вісн. ХНАУ,- 2013,- №1,- с. 73 – 77.
11. Вітвіцький С.В. Оптичні властивості гумусових речовин чорноземів / С.В. Вітвіцький .- Умань, УНІС,- 2010, с. 55 – 60.
12. Гахов В.Ф., Можейко Г.О. Процеси водної і вітрової ерозії.: Родючість ґрунтів . Мониторінг та управління. Київ: Урожай, 1992, с. 91-136.

- 13.Гнатенко О.Ф., Петренко Л.Р., Капштик М.В. та ін. Агровиробниче групування ґрунтів.//О.Ф. Гнатенко, Л.Р. Петренко, М.В. Капштик .- К.: НАУ, 1999. – 70с.
- 14.Гнатенко О.Ф., Капштик М.В., Петренко Л.Р., Вітвіцький С.В. Ґрунтознавство з основами геології.// О.Ф. Гнатенко, Л.Р. Петренко, М.В. Капштик, С.В. Вітвіцький,- К.: Оранта, 2005.- 642 с.
- 15.Ґрунти України та їх агровиробнича характеристика / Колектив авторів. К.: Урожай, 1964. – 164с.
- 16.Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР.//В.Н. Димо.- – М.: Колос, 1972.
- 17.Зайцев Б.Д. Ґрунтознавство.// Б.Д. Зайцев.-- М.: Лісова промисловість, 1965. –С.10 – 40.
- 18.Кисель В.И. Биологическое земледелие в Украине: проблемы и перспективы.//В.И. Кисель - Харьков: -, 2000. – 162 с.
- 19.Кисіль В.І. Вплив органічних і мінеральних добрив на показники родючості чорнозему типового за різних систем землеробства //Агрохімія і ґрунтознавство. – 2000. – Вип. 60. – С. 40-50.
- 20.Кисіль В.І. Модель біологічного землеробства інституту ґрунтознавства та агрохімії УААН. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / За ред. доктора с.-г. наук М.К.Шикули. – К.: Оранта, 2000. – С. 185-194.
- 21.Мазур Г.А., Медвідь Г.К.Сімачинський В.М. Підвищення родючості кислих ґрунтів.– К.: Урожай, 1984. – 176 с.
- 22.Медведев В.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных почв Украины / В.В. Медведев, И.В. Плиско,-Харьков, 2006.- 385 с.
- 23.Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В.В. Медведев,- М.: 1988 .- 158 с.
- 24.Медведєв В.В. Структура ґрунту як екологічний чинник/ В.В. Медведєв//вісн. ХНАУ ім.. В.В.Докучаєва,-Харків,2009.-№3,- С.14-20
- 25.Методы стационарного изучения почв.– М.: Наука, 1977.– 296 с.

- 26.Мошинський В.С. Управління земельними ресурсами / В.С. Мошинський,- Рівне.- НУВГП.-2004.-185 с.
- 27.Надточий П.П., Вольвач Ф.В. Модель круговорота углерода и критерии устойчивости системы фитоценоз-гумусовые вещества почвы //Доклады АН Украины, 1993, - №8.- с. 165-171.
- 28.Надточій П.П., Гермашенко В.Г., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту та його забруднення. Аграрна наука. Київ. 1998.- с. 257-261.
- 29.Носко Б.С. Почвы Украины и повышение их плодородия /Б.С. Носко,- К.: Урожай,- 1988,- том 2.- 176 с.
- 30.Носко Б.С., Чесняк Г.Я. Як зберегти і підвищити родючість чорноземів /Б.С. Носко, Г.Я.Чесняк,- К.; Урожай.- 1984.- 200 с.
- 31.Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981.– 272 с.
- 32.Петренко Л.Р., Бережняк Є.М. Математико-статистичне відображення водно-ерозійних процесів при дощуванні // Аграрна наука і освіта. Т. 8. - № 1-2.
- 33.Петренко Л. Р., Бережняк Є. М. Деякі теоретичні аспекти боротьби з антропогенним підкисленням ґрунту/Л.Р. Петренко, Є.М. Бережняк.- Науковий вісник НАУ,- К.: 2008.- № 125.- с. 88-95.
- 34.Петренко Л. Р., Бережняк М. Ф., Дудар Т. В., Бережняк Є. М.Основи ґрунтознавства (англійською мовою) / Л.Р. Петренко, М.Ф. Бережняк, Т.В. Дудар. Є.М. Бережняк .- К.: Вид. НАУ.- 2011.- 460 с.
- 35.Полевой определитель почв / Под ред. Полупана Н.И. и др. - К.: Урожай, 1981. – 320с.
- 36.Почвы Украины и повышение их плодородия. Т.1 Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты / Под ред. Н.И.Полупана. - К.: Урожай, 1988. – 296с.
- 37.Почвы. Серия «Природа Украинской ССР»/ Под ред. Н.Б.Вернандер и Д.А. Тютюнника. – К.: Наукова думка, 1988. – 252с.

38. Охорона ґрунтів: Навч. посіб./ М.К.Шикуча, О.Ф.Гнатенко, Л.Р.Петренко, М.В.Капштик. –К.: Т-во “Знання”, КОО, 2001. – 398с.
39. Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль О.М., Величко В.А. Визначення еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України. К.: Аграрні науки. 2005.
40. Чесняк Г.Я. Гумусное состояние черноземов/ Г.Я. Чесняк, Ф.Я. Гаврилюк, И.А. Крупенников //Русский чернозем 100 лет после Докучаева. М.: Москва,- Наука.- 1983.- с. 186-189.
41. Качинский Н.А. Физика почв. Ч.1. М., изд. МГУ, 1965, 323 с.
42. Качинский Н.А. Физика почв. Ч.2. М., изд. «Высшая школа», 1970, 360 с.
43. Качинский Н.А. Оценка основных физических свойств почв в агрономических целях и природного плодородия их по механическому составу. Почвоведение, 1958, № 5, с. 80-83.
44. Бахтин П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. Москва. «Колос». 1969, 272 с.
45. Гедройц К.К. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении. Изв. Гос ин-та опытной агрономии, т.4, №3, 1926, с. 117-127.
46. Гордієнко В.П., Малієнко А.М., Грабак Н.Х. Прогресивні системи обробітку ґрунту. Симферополь, 1998, 279 с.
47. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь. М., Сельхозгиз, 1953, с. 152.
48. Долгов С.И., Бахтин П.У. Шкала для оценки готовности почв к посеву по ее структурному состоянию. В кн.: «Агрофизические методы исследования почв». М., изд. «Наука», 1966, с. 67.
49. Долгов С.И., Модина С.А. О некоторых закономерностях зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от плотности почвы. Теор. вопросы обработки почвы. Л., Гидрометеоиздат, 1969, с. 54-64.
50. Дояренко А.Г. Избранные сочинения. Изд. с.-х. литературы, журналов и плакатов. М., 1963, 495 с.

- 51.Євтенко В., Линдіна Т., Медведєв В., Цибулько В. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. ДСТУ 4521:2006. Київ. Держспоживстандарт України. 2007, 4 с.
- 52.Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв. Почвоведение, 1979, №3, с. 81-88.
- 53.Медведєв В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва. ВО «Агропромиздат», 1988, 160 с.
- 54.Медведєв В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков. Изд. «13 типография». 2008, 406 с.
- 55.Медведєв В.В. Твердость почвы.- Харьков: Изд. КП «Городская типография». 2009. - 152 с.
- 56.Медведєв В.В. Физическая деградация черноземов. Диагностика, причины, следствия, предупреждение. – Харьков: Изд-во «Городская типография», 2013. – 324
- 57.Медведєв В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
- 58.Медведєв В.В., Линдіна Т.Е., Лактионова Т.Е. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты. Харьков. Городская типография. 2004, 244 с.
- 59.Медведєв В.В. Нульовий обробіток ґрунту в європейських країнах. Харків. ТОВ «ЕДЕНА», 2010, 202 с.
- 60.Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України. За редакцією М.В.Зубця і ін. Київ. «Логос». 2010, 980 с.
- 61.Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західному регіоні України. За редакцією М.В.Зубця і ін. Київ. «Урожай». 2010, 944 с.
- 62.Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України. За редакцією М.В.Зубця і ін. Київ. «Аграрна наука». 2010, 986 с.

63. Основы агрофизики (под ред. А.Ф.Иоффе и И.Б.Ревута). М., Физматгиз. 1959, 904 с.
64. Переуплотнение пахотных почв (причины, следствия, пути уменьшения). Под ред. чл.-кор. АН СССР В.А. Ковды. М. «Наука», 1987, 216 с.»), 1987, 216 с.
65. Asmus F. Ermittlung des Bedarfs des Bodens an organischer Substanz auf der Basis von Stickstoffentzügen / F. Asmus // Arch. Für Acker und Pflanzenbau und Bodenk., 1985, 29, 1. – P. 31-38
66. Bauer A. Soil carbon, nitrogen and bulk density comparison in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland / A. Bauer, A. Black // Soil Sc. America, J., 1981, 45, 6 – P. 1166-1170
67. Cannel R. The effect of cultivation on nutrient content of the shoot of winter wheat and winter oats Laboratory / R. Cannel // Agr. J. , 1977, 47, 3. – P. 41-43
68. Ciha A. Yield and yield components of four spring wheat cultivars grown under three tillage systems / A. Ciha // Agr. J. , 1982, 74, 2. – P. 317-320
69. Davidson S. Cultivation and soil organic matter / S. Davidson // Rural Res. , 1986, 131. – P. 13-18
70. Debruch R. Stoh dungen Statt verbrennan / R. Debruch // Dt. Land-wintehafliche Presse, 1971. – 15, 4
71. Dkhar G.D. Characterisation of humic and fulvic acids of forest and cultivated soils / G.D. Dkhar, B. Prasad, M.K. Sinha // Indian Soc. Sc. , 1986, 34, 1. – P. 29-37
72. Dvornic J. Prispevec ke studiu zvysovani urodnosti tezkych pud ceznozemniho typu prohlubovanim ornice. Sdeleni 111. Pudni chemismus / J. Dvornic // Acta Univ. agricult. , 1967, A15, 2. – P. 251-261
73. Gallaner R.N. Effect of no-tillage vs conventional tillage on soil organic matter and nitrogen content / R.N. Gallener, M.B. Ferrer // Communications in soil acience and plant analysis , 1987, 18, 9. – P. 1061-1076



74. Gogle A. Carbon transformations during wheat straw decomposition / A. Gogle, P. Saffigna, W. Strong // Soil Biol. And Biochem.,1989. – 21. №3 – P. 367-372
75. Guerif J. Effect of cultivation on organic matter status and compaction behaviour of soil / J.Guerif // Proc. 9<sup>th</sup> conf. inter soil tillage Res. Organisation. Osijek, 1982 – P. 207-212
76. Hargitai L. Hummification of organic matter affected by fertilisation and manuring / L. Hargitai // Proc. 9<sup>th</sup> Int. Symp/ Soil Biol. And Conserv. Biosphere, Sopron, Aug. 27-30, Budapest, 1987. – vol. 1. – P. 427-435
77. Haslback S. Humification of barley straw under model conditions / S. Haslback, P. Klaska// Stud. About et Planta : Y11 Trans int. Symp., Brno, 1979. – P. 300-303
78. Heinzle Y. Conduite de la vigne en non-culture / Y. Heinzle, P. Dumarin // Vignes Vins, 1978, 266. – P. 9-14
79. Jacquin F. Influence de la matiere organique sur la structure du sol / F. Jacquin // 11<sup>th</sup> International congress of Soil Science, Edmonton, 1978. – vol. 3. – P. 369-383
80. Jenkinson P.S. Studies of the decomposition of 14C – labelled organic matter in soil / P.S. Jenkinson // Soil Sci., 1970. – vol. 3., №1 – P. 64-70
81. Johnson R.H. Energy trends in KES agriculture and use of Renewable Energies in the Bio.-Industries / R.H. Johnson , 1980. – P. 295-306
82. Khalil R.A. Humification of organic matter in soil affecting availability of phosphorus from its mineral compounds / R.A. Khalil, El-Shinawi // Arid.Soil Res. And Rehabil. , 1989. – №3 – P. 77-84
83. Konnecke G. Fruchtfolgen / G. Konnecke , Berlin 1979.– 335 p.
84. Lag J. Jordressurser som grunnlag for matproduksjon / J. Lag // Nord. forskn. Jordbrugs, 1979, 61, 2. – P. 212-213
85. Mann L.K. Changes in soil carbon storage after cultivation / L.K. Mann // Soil Sci., 1986,142,5. – P. 279-298

86. Mann L.K. Soil carbon storage after cultivation / L.K. Mann // Soil Sci., 1989,152,6. – P. 115-128
87. Novak B. Die microbille humus bildung / B. Novak // Bentrulblatt fur bacterologic, Parasitenkunde, infectionskrankheiten und hygiene, 1970,125,6. – P. 566-5778
88. Pinck L.A. Maintenance of soil organic matter / L.A. Pinck, F.E. Allison // Soil Sci., 1951. – vol. 71., №1 – P. 67-75
89. Ramon J. Synthèse de 14 années (1968 à 1981) d'étude de la fertilisation potassique sur une rotation de cultures en Champagne crayeuse / J. Ramon, J. Bertelot // Serv. Agr. Mulhouse. , 1982, 2, 1. – P. 1-20
90. Rawis W. Estimating soil bulk density from particle size and loss organic matter content / W. Rawis // Soil Sci., 1983,135,2. – P. 123-125
91. Sauerbeck D.R. Root formation and decomposition during plant growth / D.R. Sauerbeck // Soil organic matter studies, Vienna, 1977. – vol. 1. – P. 141-148
92. Sinha M.K. Organic matter transformation in soil / Sinha M.K. // Humification of <sup>14</sup>C – tagged oat roots , Planta Scil. , 1972. – vol. 36. – P. 121-129
93. Swift R.S. Humification of plant materials. Properties of humic acid extracts / R.S. Swift // Soil org. matter studies, Vienna, 1977. – vol. 1. – P. 171-178
94. Tanaka A. Present problem of fertiliser / A. Tanaka // FAO soil Bulletin, 1978, 37. – P. 114-125
95. Vez A. Varieties and techniques culturales – Recherches d'aujourd'hui pour agriculture de demain / A. Vez // Schweiz. landw. Forsch. , 1979, 18, 3. – P. 197-203.

**МЕДВЕДЄВ**  
Віталій Володимирович

**БУЛИГІН**  
Сергій Юрійович

**ВІТВИЦЬКИЙ**  
Станіслав Валерійович

## **ФІЗИКА ҐРУНТУ**

*Навчальний посібник*

