

**В.В. МЕДВЕДСЬ**  
**С.Ю. БУЛИГІН**  
**С.В.ВІТВИЦЬКИЙ**  
**І.В. ПЛІСКО**

**АГРОФІЗИКА ҐРУНТУ**

Навчальний посібник

**Київ -2018**

УДК 631.41

ББК 40.3

А 25

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

### Рецензенти:

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

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

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

А 25 Агрофізика ґрунту . Навчальний посібник . К.: Видавництво, 2018.- 272 с.

**ISBN**

В навчальному посібнику детально висвітлені властивості ґрунту як специфічного фізичного об'єкта (будова та мікробудова, гранулометричний склад та структура, фізичні, фізико-механічні, водні та повітряні властивості). На основі детальних досліджень фізичних властивостей орних ґрунтів України визначені основні причини виникнення, поширення і розвитку фізичної деградації, особливості їх прояву в природних зонах України на не меліорованих та меліорованих ґрунтах, визначені економічні, екологічні і соціальні наслідки та розроблені головні шляхи їх подолання.

Розроблені прогностичні моделі у фізиці ґрунтів (сорбції/десорбції, транспорту вологи і дрібнодисперсних елементів, математичне педотрансферне моделювання)

Значну увагу приділено сучасним методам вивчення фізичних властивостей і режимів ґрунтів: вивчення ґрунтів у режимі *in situ* і *on-line*, геостатичний, дистанційний, ГІС-технології).

Навчальний посібник з дисципліни «Агрофізика ґрунту» призначений для студентів і спеціалістів у галузі агрономії, ґрунтознавства, екології та природокористування.

УДК 631.41

ББК 40.3

**ISBN**

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

## ЗМІСТ

---

ВСТУП.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.1. Грунт як специфічний фізичний об'єкт.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.2. Будова і мікробудова ґрунту .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3. Гранулометричний склад.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.4. Структура ґрунту.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5. Фізичні і фізико-механічні властивості .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5.1. Щільність будови і глибина кореневмісного шару .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5.2. Фізична сплість .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.4</b>
1.5.3. Питомий опір.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5.4. Твердість і інші міцнісні властивості ґрунту	<b>Ошибка! Закладка не определена.6</b>
1.5.5. Пластичність і липкість .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.8</b>
1.5.6. Фізичні властивості ґрунтів і кореневі системи рослин.....	89
РОЗДІЛ 2. ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.3</b>
2.1. Категорії, форми і види води у ґрунті.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.3</b>
2.2. Водно-фізичні властивості ґрунту.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.8</b>
2.3. Джерела води в ґрунті.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.2</b>
2.4. Рух вологи в системі «ґрунт-рослина-атмосфера»	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
РОЗДІЛ 3. ЗВОЛОЖЕННЯ КОРЕНЕВМІСНОГО ШАРУ ПРОТЯГОМ ВЕГЕТАЦІЇ РОСЛИН .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.0</b>
РОЗДІЛ 4. ПОВІТРЯ В ҐРУНТІ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.1</b>

РОДІЛ 5. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОРНИХ ГРУНТІВ УКРАЇНИ І ЇХ  
ТРАНСФОРМАЦІЯВ УМОВАХ  
ІНТЕНСИВНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ  
..... **Ошибка! Закладка не определена.39**

5.1. Типологія і нормативи деградацій ґрунтів ..... **Ошибка! Закладка не определена.39**

5.2. Причини виникнення і розвитку **Ошибка! Закладка не определена.5**

5.3. Поширення деградації..... **Ошибка! Закладка не определена.6**

5.4. Деградаційні проблеми в орних ґрунтах ..... **Ошибка! Закладка не определена.0**

5.4.1. В немеліорованих ґрунтах ... **Ошибка! Закладка не определена.0**

5.4.2. В меліорованих ґрунтах ..... **Ошибка! Закладка не определена.5**

5.4.3. Спустелення..... **Ошибка! Закладка не определена.4**

5.5. Особливості прояву деградації в природних зонах України .. **Ошибка! Закладка не определена.6**

5.6. Економічні, екологічні і соціальні наслідки ..... **Ошибка! Закладка не определена.0**

РОЗДІЛ 6. ПРОГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ У ФІЗИЦІ ГРУНТІВ ..... **Ошибка! Закладка не определена.6**

6.1. Сорбції/десорбції..... **Ошибка! Закладка не определена.6**

6.2 Транспорт вологи і дрібнодисперсних елементів .. **Ошибка! Закладка не определена.08**

РОЗДІЛ 7. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ АГРОФІЗИКИ ГРУНТІВ У  
ЗЕМЛЕРОБСТВІ ..... **Ошибка! Закладка не определена.2**

РОДІЛ 8. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ І РЕЖИМІВ ГРУНТІВ ..... **Ошибка! Закладка не определена.7**

8.1. Експериментальний полігон ..... **Ошибка! Закладка не определена.7**

8.2. Стаціонарний польовий дослід.. **Ошибка! Закладка не определена.4**

8.3. Вегетаційний дослід..... **Ошибка! Закладка не определена.7**

8.4. Лізиметричний метод..... **Ошибка! Закладка не определена.38**

8.5. Аналітичні камеральні і польові дослідження.. **Ошибка! Закладка не определена.39**

8.6. Математичне педотрансферне моделювання ...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	1
8.7. Геостатистичний .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	5
8.8. ГІС – технології.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	6
8.9. Вивчення ґрунтів у режимі in situ і on-line .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	48
8.10. Дистанційний.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	1
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	57
ДОДАТКИ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	0

## ВСТУП

Характеристику фізичних властивостей варто починати із гранскладу, тому що ґрунти, що мають різний грансклад, звичайно різні й відносно основних властивостей і режимів. Вони по різному сприймають вологу атмосферних опадів, на них різна ефективність мінеральних добрив і хімічних меліорантів. Вони по різному реагують на дії ґрунтообробних знарядь. Нарешті, по-різному проявляється їхня родючість і різні результати господарської діяльності на ґрунтах різного гранскладу. Саме тому в навчальному посібнику буде чимало сторінок присвячене гранскладу. Але разом з тим фізичні властивості ґрунтів - це й співвідношення структур різного розміру, і щільність будови, і поровий простір. Саме ці властивості визначають водно-повітряний режим, ріст корінь, надходження в них елементів живлення й продуктивність рослин.

Саме ці властивості у першу чергу піддаються несприятливим змінам (фізичній деградації) - переущільненню, знеструктуренню (брилистості й розпиленню), поверхневій кірці, тріщинуватості й іншим. Тому й ця сторона знайшла відбиття в навчальному посібнику.

Зрозуміло, не будуть забуті методи керування фізичними властивостями, асортимент яких настільки великий і вони настільки ефективні, що доводиться лише дивуватися тому, чому ж настільки поширені й різноманітні прояви фізичної деградації ґрунтів. Значний обсяг посібника вимагає його формування у двох частинах: чинна – теоретичні засади агрофізики, методи дослідження фізичних властивостей ґрунтів у вигляді лабораторного практикуму. Автори посібника впевнені, що перебороти деградацію цілком реально. Це буде досяжно тоді, коли екологічний імператив стане безумовним законом для землекористувачів. Вони сприймуть як саме собою зрозуміле - головне в сільськогосподарському виробництві не витягти із ґрунту її запас родючості відразу й побільше, а діяти так, щоб його зберегти й помножити для наступних поколінь.

Навчальний посібник являє собою виокремлений виклад лекцій, що читаються в Національному університеті біоресурсів і природокористування України (опрацьовані під керівництвом проф. С.Ю.Булигіна), в Харківському національному агроуніверситеті імені В.В. Докучаєва (опрацьовані під керівництвом проф. Д.Г. Тихоненка), а також у Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна (опрацьовані під керівництвом проф. В.В. Медведєва). Крім того, буде видана третя частина курсу у вигляді науково-навчального посібника для аспірантів за напрямком підготовки «агрономія».

Автори вважають, що повноцінне засвоєння курсу агрофізика ґрунтів можливе за певної підготовки студентів, які на передодні вивчили курси «Ґрунтознавство», «Геологія і мінерологія». Тому, бажано викладати курс «Агрофізика ґрунтів» на старших курсах бакалаврату і магістрам. Автори

вдячні за допомогу і співпрацю своїм колегам по роботі і науковим дослідженням

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

### 1.1. Грунт як специфічний фізичний об'єкт

Грунтовий покрив відрізняє кілька якостей, розглянути які представляється надзвичайно важливим, особливо у зв'язку з його оцінюванням як фізичного тіла.

Грунт є полігенетичним (природно-антропогенним) утворенням. З факторів ґрунтотворення антропогенний займає особливе місце. Його дія на ґрунт почалася після того, як ґрунт був сформований. Якщо процес ґрунтотворення під дією природних факторів (клімату, породи, рослинності, рельєфу і часу) тривав приблизно кілька десятків мільйонів років і триває тепер, то дія антропогенного фактора почалася всього кілька тисячоріч тому назад і різко підсилилася в останні приблизно 100-150 років. Дія людини на ґрунт (і до того ж на всі фактори ґрунтотворення) настільки значна й різноманітна, що не може не змінити ґрунт. Мабуть, краще інших про це сказав В.В. Докучаєв (1953) у своїй книзі «Наши степи прежде и теперь», виданої ще в кінці 19 століття. У цій роботі звернено увагу на різке погіршення фізичних властивостей ґрунтів, що розорюються, у порівнянні із природним ґрунтом, втрату в них органічної речовини, посилення ерозійних процесів. Але в той час питання про те, чи сформувався новий ґрунт під дією антропогенної діяльності чи ні, не ставився. Твердження про те, що цілина й давньоорний ґрунт - по суті два різні ґрунти, з'явилося багато пізніше (М.І. Богданов). В Україні, здається, тільки Д.Г. Тихоненко є послідовним прихильником самостійності агроземи як нового типу ґрунту.

Дотепер існування агроземи залишається дискусійним питанням і для того, щоб він дійсно був визнаний новим ґрунтом і придбав права «громадянства» потрібні додаткові докази.

У чорноземах, що перебували у різних умовах використання - від абсолютно заповідної цілини до варіантів у виробничих і дослідних умовах виявилися настільки істотні розходження, що дозволили упевнено

стверджувати - під впливом тривалого землеробського використання природний ґрунт трансформується в агрозем, має принципово інші властивості і режими і цілком може називатися новим полігенетичним (природно-антропогенним) утворенням.

Спочатку розглянемо мікробудову агрегатів і пор цілини й ріллі. У чорноземних ґрунтах цілини зустрічаються агрегати переважно ізометричної (із приблизно однаковими розмірами у всіх напрямках) округлої форми. Така форма агрегатів, як правило, свідчить про аккумулятивні процеси з активною участю полівалентних катіонів. Округла форма агрегатів властива всім ґрунтам з дерновим процесом ґрунтоутворення.

Агрегати мають розмір менше 10 мм, пронизані коріннями й не розпливаються під дією води, якщо навіть зняти дернину, мають досить високу механічну міцність. Помітної динаміки структурного стану протягом теплого періоду року не відзначається.

Для цілинних чорноземів характерне губчате помірно щільна будова, у якій відсутні неагреговані компоненти. У таких умовах практично не йдуть процеси, що гальмують агрегацію. Тому вона досягає тут найбільшого розвитку. Мабуть, лише в ґрунті під дубовим лісом можна знайти ще більш досконалу структуру. Агрегати, що формують таку будову, мають складну структуру (їх порядковість звичайно 4-5), розгалужену мережу між- і внутрішньоагрегатних пор. Губчата щільна будова може розглядатися як еталон, тому що стосовно нього легко діагностуються всі зміни, пов'язані з оранкою.

Після оранки цілини відокремлення агрегатів стає цілком ясним і їх порядковість практично ніколи не перевищувала 2-3. Губчата будова відразу ж руйнується й трансформується у фрагментарне, а потім у злите, причому його щільність стає відчутно вищою, ніж у вихідному цілинному стані. Причина такої трансформації полягає в зміні форми агрегатів - від округлої ізометричної правильної до неправильної кутастої.

На ріллі після багаторічного обробітку домінують анізотропні грудки (брили) неправильної форми, розміром, як правило, більше 10 (20) мм, і пороховидна структура. У типовому чорноземі брил може бути до 20%, а в південному - до 60%. Грудки містять мало коріння, після літньої зливи або в зрошуваних умовах розпливаються й утворюють кірку. Звертає на себе увагу зміна на ріллі розміру, форми, зовнішньої й внутрішньої будови агрегатів. В останніх, як правило, майже обов'язкова для агрегатів цілини окантовка гуматною (орієнтовно гідрофобною, що додає їм додаткової стійкості) плівкою, різко зростає рельєфність, деформованість, а разом з ними знижується досконалість їхньої форми. Коефіцієнт оформленості агрегатів (за коефіцієнтом окатаності гальок Уейделла-Кухаренко) для агрегатів оброблюваних шарів досягає 0,15-0,30, а в чорноземі південному - нижче 0,10 проти 0,40-0,50 на цілині при максимумі за еталоном 0,90. Значно змінюється співвідношення агрегатів високого й низького порядків. Причому в чорноземі південному в порівнянні з іншими підтипами порядковість агрегатів (тобто, їхня складність, губчатість) виражена слабкіше, а здатність змінюватися під дією обробітку сильніше.

За обробітку кількість неагрегованого матеріалу у всіх чорноземах зростає: у найбільшій мірі в чорноземі південного, у найменшій - у чорноземі звичайного.

За обробітку порушується характерна для цілини стабільність порового простору, зменшується довжина пор одного діаметра. Пори заповнюються мікроагрегатами й тонкодисперсним неагрегованим матеріалом. В оброблюваному шарі формуються два типи скупчень агрегатів: індивідуальні відособлені й штучно зближені. За обробітку відбувається різке розпушення окремоостей, їхнє руйнування (у шліфі в цій фазі виявляється велика кількість пор і окремих макро- і мікроагрегатів), далі окремості зближуються за вертикальної осі, щільність швидко наростає й формуються, швидше за все, помилкові макроагрегати.

Характерні зміни будови агрегатів у процесі відновлення

рівноважної щільності: росте їх порядковість внаслідок агрегації неагрегованого матеріалу, поліпшується оформленість (видима, у результаті росту коріння і діяльності ґрунтової фауни). Як показало мікроморфометрія орієнтованих шліфів, анізотропність будови є важливою генетичною ознакою і обумовлена анізотропністю розмірів структурних грудочок.

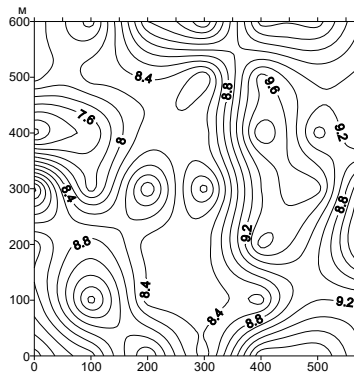
Відновлення рівноважної щільності досліджених ґрунтів супроводжується більш інтенсивним зменшенням видимої пористості за вертикалі, чим за горизонталі. У результаті в рівноважному стані орні ґрунти характеризуються підвищеною анізотропністю в порівнянні із цілиною, що, мабуть, служить безпосередньою причиною більш високої варіабельності водно-фізичних властивостей на ріллі.

За обробітку різко зростає кількість міжагрегатних пор (звичайно пори розміром 15-20 мкм), які навіть за зволоження, рівного найменшій вологоємності (28-32% від маси ґрунту) не можуть утримати капілярну вологу (розрахунок за формулою Жюрена). Пори такого розміру характеризуються високою вологопровідністю (саме тому усмоктування води на ріллі в перші годинники спостережень, істотно вище, ніж на цілині). Вода в них не затримується: вона або стікає вниз, або випаровується. Цінність таких пор у забезпеченні рослин вологою невелика. Їхня роль зводиться до сприйняття опадів і здійснення процесів газообміну з атмосферою. Якщо виходити з того, що оптимальне співвідношення між- і внутрішньоагрегатних пор повинне наближатися до одиниці, то отримані співвідношення вказують на надлишкову кількість міжагрегатних пор у всіх досліджених чорноземах навіть на цілині, при цьому обробіток ще більше погіршує їхнє співвідношення. Важливо підкреслити, що чим вище порядковість агрегатів, тим більше вони містять внутрішньоагрегатних обводнених пор, де відбувається водно-мінеральне живлення рослин і біоти.

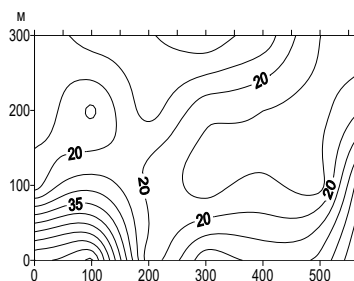
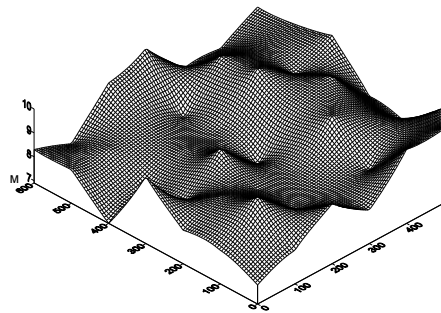
Горизонтальний профіль цілини й ріллі. Спроби встановити

закономірності горизонтального просторового розподілу ґрунтів і їхніх властивостей раніше вживали неодноразово. По суті вчення про структуру ґрунтового покриву (В.М. Фридланд) - одна з найважливіших концепцій, розвинених у цьому напрямку. Ще раніше досліджували різні ґрунтові комплекси, комбінації, катени. Однак, як справедливо відзначив В. Горячкін, вчення про горизонтальний профіль ґрунтів перебуває на початковому етапі свого розвитку й до того ж стало популярним лише в географії ґрунтів. Що ж стосується гідрології, фізики, мікробіології, мінералогії й інших розділів ґрунтознавства, то тут щодо цього взагалі мало що відомо. Також, втім, як і про трансформацію просторових структур за активного землеробського освоєння ґрунтів.

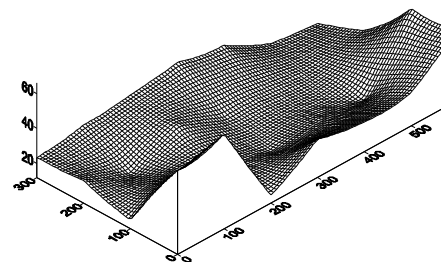
Нижче покажемо приклади горизонтального профілю ґрунтів на цілині й ріллі, використовуючи для цього результати геостатистичної обробки просторових даних, зокрема, 2-D- і 3-D-діаграми (рис. 1.1.1). Добре помітна істотно більш виражена горизонтальна строкатість вмісту фосфору на ріллі (коефіцієнт просторової варіації 56%) у порівнянні із цілиною (9%). Варто звернути увагу на те, що майже 30-літній досвід застосування фосфорних добрив на ріллі в даному об'єкті не тільки не усунув просторову варіабельність вмісту фосфору в ґрунті, що логічно було б очікувати, але й істотно її збільшив. Аналогічний приклад нами був знайдений у роботі англійського дослідника R.J.Godwinetal. (2002), щоправда, досвід застосування добрив там був трохи більше - майже 150 років.



Уміст P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> у шарі 0-20 см, мг/100 г	Площа	
	%	га
<7,5	4,64	0,59
7,5-8,0	5,94	2,14
8,0-8,5	30,6 5	11,0 3
8,5-9,0	26,4 7	9,53
9,0-9,5	26,0 4	9,38
>9,5	9,25	3,33



Уміст P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г грунту	Площа	
	%	га
<15	2,1	0,6
15-25	67,0	2 ,1
25-35	23,0	6,9
35-45	4,5	1,4
45-55	2,5	0,8
55-65	08	0,2
>65	0,1	0,02



**Рис.1.1.1. 2-D- і 3-D-діаграми горизонтальної просторової неоднорідності, площі контурів з різним умістом рухомого фосфору на цілині (угорі) і на ріллі (унизу). Розміри поля в м**

**Вертикальний і часовий профілі цілини і ріллі.** Розглянемо це питання на прикладі рівноважної щільності будови чорнозему південного. Виміри (у 6-ти кратному повторюванні) зроблено в середині літа з інтервалом в 15 років – в 1967, 1982 і 1997 р. Як відомо, на цілині, в лісі, ґрунті, який не використовується в сільськогосподарському виробництві, відсутній основний фактор, що впливає на щільність, - механічний обробіток. Цикл перетворення елементів у цих умовах не супроводжується їхнім вилученням, як це відбувається при вирощуванні польової культури. У природних умовах у ґрунт не надходять добрива, що сприяють активізації мікробіологічної діяльності, не здійснюються меліоративні заходи. Інакше кажучи, це замкнута термодинамічно рівноважна система. Звичайно, і тут продовжує діяти цілий ряд факторів, здатних змінити щільність. Це волога, ґрунтові тварини, температура, атмосферний тиск, і їхні складні трансформації протягом року, сезону, доби. Замерзання й відтавання вологи, нагрівання й охолодження, здатні викликати деформації будови, співвідношення твердої, рідкої й газоподібної фаз.

Проте виявилось, що щільність за її аналізу у вертикальному й часовому аспектах на цілині протягом 30 років залишалася постійною. У верхньому шарі 0-20 см, збагаченому коріннями, воно була близька до 1,00 г/см<sup>3</sup>, у шарі 20-40 см – в межах 1,15-1,22 г/см<sup>3</sup>, у шарі 40-70 см – наближалася до 1,30 г/см<sup>3</sup>, у шарі 70-110 см – не вище 1,34 г/см<sup>3</sup>. Ці значення можна розглядати як найбільш характерні для даного ґрунту, що перебуває в природному стані, без впливу ходових пристроїв машинно-тракторних агрегатів, збиральної техніки, інших агрозаходів.

На ріллі, починаючи з 30 до глибини 60-80 см щільність вірогідно вище (це, швидше за все, плужна підшва). Особливо істотні - до 0,3 г/см<sup>3</sup> - розбіжності в щільності у верхньому шарі. Відзначимо: це значне розходження, саме воно обумовлює розходження між цілиною й ріллею відносно практично всіх режимів. Підкреслимо – рілля в пухкому стані, тобто, близькому до ущільнення цілини, перебуває не більше 2-х місяців.

Протягом іншої пори року, не менш 10 місяців, вона переущільнена. Уже в 1967 р. вона була в переущільненому, явно відмінному від природного, стані. Ясно, що це акумулятивне ущільнення є наслідком тривалої оранки й застосування інших технологічних операцій. У наступні 30 років ущільнення поширювалося глибше по профілю – з 60 до 80 см. Верхня частина профілю при цьому залишалася в тім же стані.

Установлена величина рівноважної щільності будови в орному шарі одночасно означає якийсь потенціал опору ґрунту зовнішньому механічному навантаженню останнього періоду механізації землеробства. З отриманих численних даних, опублікованих, наприклад, у книзі «Переущільнення орних ґрунтів...»(В.А. Ковда, 1987), відомо, що аналогічний ґрунт може ущільнюватися до 1,40 і навіть 1,50 г/см<sup>3</sup>. Якщо ж рівноважна щільність дослідженого чорнозему південного склала 1,20-1,28 г/см<sup>3</sup>, то це означає, що ґрунт розущільнився. Тому, 1,20-1,28 г/см<sup>3</sup> – характеристика ємності опору даного ґрунту зовнішньому навантаженню. Інакше кажучи, рілля вже не може розущільнитися до величини ущільнення в природному стані, але ще може розущільнитися з 1,40-1,50 до 1,20-1,28 г/см<sup>3</sup>.

Спостереження за сезонною динамікою щільності будови на цілині показують, що зміни щільності все-таки присутні, але вони не можуть уважатися істотними (табл. 1.1.1). Це значить, що згадані вище впливи на цілині не в змозі змінити щільність. Видимо, кожний фактор впливає на ґрунт. З одного боку, це ущільнення, з іншого боку - розущільнення. Швидше за все, так діють коріння, в одній ділянці ущільнюючи, у сусідньому розпушуючи ґрунт. Таку ж дію роблять меніски вологи, кристалики льоду при заморожуванні рідкої вологи.

**Щільність будови чорнозему південного важкосуглинкового на  
абсолютно заповідній цілині протягом сезону, г/см<sup>3</sup>  
(середні дані за 3 роки)**

Глибина, см	Навесні	Наприкінці літа	Восени
12-22	1,02	1,06	1,01
30-40	1,26	1,32	1,28

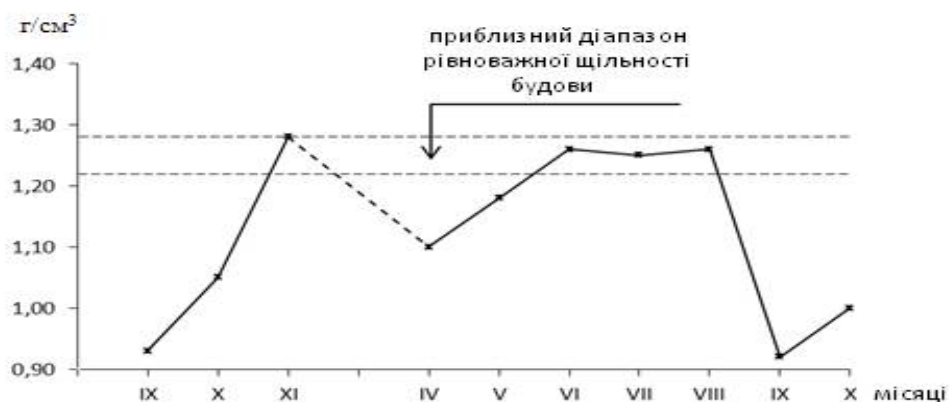
Фактором, що стабілізує щільність у часі, є коренева система. Особливо значну дію на ґрунт роблять кореневі системи лісових культур. Так, за даними Н.А. Качиньського, дерново-підзолистий важкосуглинковий ґрунт у польовій сівозміні й у лісі у верхньому шарі має щільність відповідно 1,26 і 1,08 г/см<sup>3</sup>. Ще більш значна різниця була відзначена в роботі польського дослідника Н. Domzal – відповідно 1,32 на ріллі й 1,02 г/см<sup>3</sup> у лісі в горизонті А1 чорноземовидного ґрунту.

Внаслідок цього щільність будови ґрунту в природних умовах - квазірівноважна величина, характерна для ґрунтово-кліматичних і едафічних умов, в умовах ріллі - це нерівноважна величина.

Якщо на цілині діапазон змін щільності залежно від змін вологості й температури перебуває в межах  $\pm 0,05$ , а залежно від типу кореневої системи трохи ширше -  $\pm 0,20-0,30$  г/см<sup>3</sup>, то залежно від механічного обробітку - набагато ширше. Так, у чорноземному середньо- або важкосуглинковому ґрунті він може досягати  $\pm 0,40$  г/см<sup>3</sup>. Такий перепад щільності будови (за щільності твердої фази 2,60) відповідає майже 16% загальній пористості й більш ніж 20% повітряємності, якщо останню виміряти за найменшої вологоємності. Інакше кажучи, механічний обробіток й викликані ним зміни в щільності будови служать основною причиною динаміки водно-фізичних властивостей на ріллі.

Звичайно восени після оранки ґрунт середнього й важкого гранулометричного складу (за умови, що оранка проводиться за вологості

найкращого кришення) має мінімальну щільність – 0,85-1,00 г/см<sup>3</sup>. Перед настанням зими, якщо після оранки пройшло 1,5-2,0 місяці, формується рівноважна, точніше квазірівноважна, щільність, що дорівнює приблизно 1,15-1,25 г/см<sup>3</sup>. Далі навесні після декількох циклів заморожування-відтавання (звичайно в середній смузі – це 6-7 циклів) ґрунт знову розущільнюється – до 1,05-1,10 г/см<sup>3</sup> (рис.1.1.2).



**Рис. 1.1.2. Динаміка ущільнення (г/см<sup>3</sup>) чорнозему типового в шарі 0-10 см протягом одного календарного року**

Навесні після боронування й звичайно двох культивацій щільність знову знижується. За правильної технології весняного передпосівного обробітку щільність посівного шару в цей час досягає приблизно 1,00 г/см<sup>3</sup>, що за одночасно сприятливого структурного складу дозволяє здійснити якісну (за глибиною й прямолінійністю сформованих рядків) сівбу. Потім після прикочування й природних процесів осідання оброблюваний шар знову здобуває рівноважну щільність, що згодом може змінюватися тільки після сильного зволоження (знову розущільнюється). У посівах просапних культур при проведенні міжрядних («прополювальних») розпушувальних спостерігається диференціація щільності - у міжрядді ґрунт ущільнюється, причому розходження із щільністю у зберігаються до збирання цукрових буряків.

Трансформація щільності будови в часовому й вертикальному

вимірах в орному чорноземі, що, супроводжується нехарактерним для цілинних чорноземів новим процесом лессиважу. У чорноземних ґрунтах легко- і середньосуглинкового гранулометричного складу під дією тривалого обробітку з'являються мікроморфлогічні ознаки орієнтованої глини і її міграції. Правда, лускувато-волокнисті форми глини, які можуть свідчити про її спадну міграцію виражені слабо, але активізація тонкодисперсної частини у вигляді оптично орієнтованих глин струйчастої будови й, отже, її метаморфізація на місці очевидна. Факторами, що сприяють лессиважу в орних типових чорноземах, можна вважати їх вилугованість щодо цілини, зменшення у вбирному комплексі Са й звуження співвідношення між Са й Mg, підкислення ґрунтового розчину, зменшення вмісту гумусу і його лабілізацію, ослаблення міцності органічно-мінеральних зв'язків, що діагностується за руйнуванням агрегатів, збільшення показника анізотропності (співвідношення величин видимої пористості у вертикальній й горизонтальній орієнтаціях), більш виражену пульсацію гідротермічного режиму, що приводить до розвитку пор-тріщин, періодичне глибоке промочування, посилення гідрофільності й зниження твердості за відповідного збільшення еластичності поверхні структурних окремоностей.

Перераховані факти свідчать про те, що в типових орних чорноземах під впливом тривалого обробітку спостерігається зростання рухомості тонкодисперсної частини, її переорієнтація на місці й періодична спадна міграції з горизонту Н (А) в горизонт Н<sub>p</sub> (АВ1). Це побічно підтверджується наявністю вираженої горизонтально-вертикальної подільності структур, кремнеземистої присипки, а також характером перерозподілу глини. Якщо в горизонті Н остання відносно рівномірно розподілена в масі, то в горизонті Н<sub>p</sub> проявляється тенденція її зосередження в порах і біляпоровому просторі. Викладене свідчить про початкові ознаки перетворення чорнозему типового глибокого в чорнозем типовий глибокий з іншим типом вертикальної трансформації

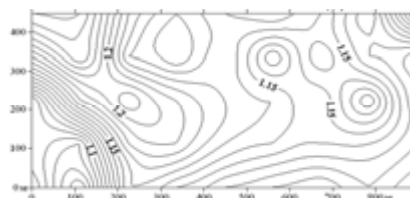
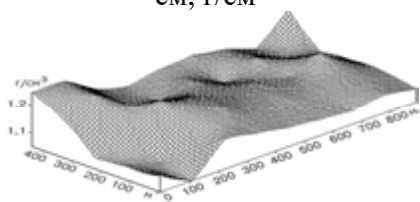
тонкодисперсної частини.

**Ґрунт як континуально-дискретне неоднорідне утворення.** У ґрунтознавстві одержало невиправданий розвиток уявлення про ґрунтовий покрив як переважно дискретне утворення. Як трактувати закономірне чергування, що виявляється в реальному ґрунтовому покриві, структур з певними властивостями? Як дискретність, переривчастість, або континуальність, поступовість? Ми схильні трактувати це чергування як прояв континуальності, поступовості в зміні властивостей. Дискретність тут привнесено за рахунок застосування інтерполяційної (до певної міри формальної) криґінг-методології, коли поступовість штучно переривається класифікаційними ознаками властивості. Навіть за використання вихідних даних 2-D і 3-D-діаграми (у цьому випадку блоковий криґінг у їхній побудові не застосовується), чітко показує переважно поступовість зміни властивостей у просторі поля (рис. 1.1.3).

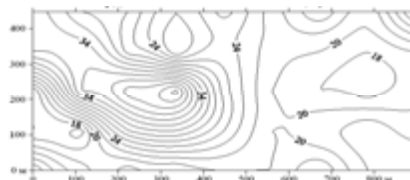
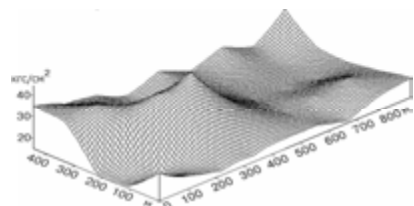
Уявлення про неоднорідність як закономірне чергування в латеральному просторі ґрунтового покриву структур з певними властивостями дозволяє віддати перевагу континуальності як загальної закономірності в ґрунтовому покриві.

Разом з тим, підкреслимо: питання про континуальність або дискретність ґрунтового покриву не може бути вирішено однозначно. Для цього доречно згадати жваві дискусії на цю тему в недавньому минулому. В 80-і роки в обговоренні цього питання взяли участь чимало відомих учених геологів, географів і ґрунтознавців. Д.Л. Арманд дотримувався принципу континуальності, І.М. Степанов - дискретності, В.М. Фридланд, А.Д. Воронін, Є.А. Дмитрієв думали, що ґрунтовий покрив є одночасно й дискретним і континуальним тілом.

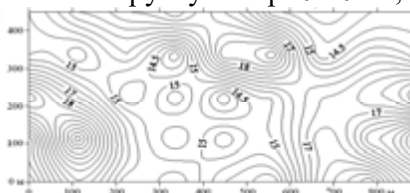
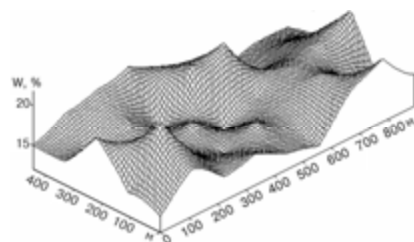
Рівноважна щільність будови у шарі 0-10 см,  $\text{г/см}^3$



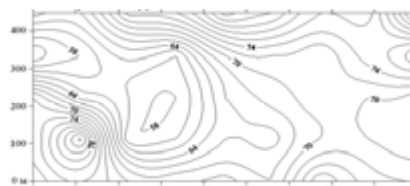
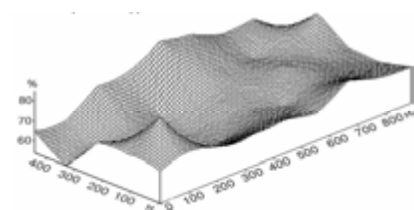
Твердість ґрунту у шарі 0-10 см,  $\text{кгс/см}^2$



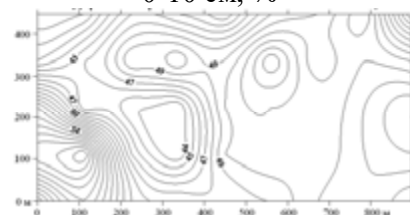
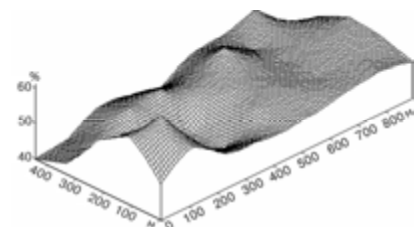
Вологість ґрунту в шарі 0-10 см, %



Уміст фракції 10-0,25 мм у шарі 0-10 см, %



Уміст фізичної глини у шарі 0-10 см, %



**Рис. 1.1.3. 3-D і 2-D діаграми неоднорідності властивостей чорнозему опідзоленого важкосуглинкового (Харківська обл.) у рівноважному стані щільності будови**

Думаємо, що в майбутні роки інтерес до цього питання повинен зрости, тому що з'являється усе більше якісної інформації, отриманої

дистанційними методами - найбільш коректними в оцінці цієї властивості ґрунтового покриву. До речі, використання спектрометричних засобів дозволяють трактувати ґрунтовий покрив переважно як континуальний об'єкт, у якому властивості (неоднорідність) змінюються поступово. У той же час радіолокаційне зондування у вертикальному напрямку завжди виявляє переривчастість у будові профілю, що пояснюється змінами його гранулометричного складу, структури або вологості.

Таким чином, можна стверджувати, що ґрунтовий покрив у 2-вимірному форматі є континуальним утворенням, у 3-вимірному – континуально-дискретним. Його континуальність у 2-вимірному форматі порушується лише внаслідок складної будови долин і заплав, пересіченої місцевості в передгір'ях і горах, через чергування різних типів рослинності й інших причин. У той же час у 3-вимірному форматі ґрунтовий покрив внаслідок різних за складом і будовою генетичних горизонтів (особливо в диференційованих ґрунтах) є очевидним континуально-дискретним утворенням. Швидше за все, ґрунт дискретний і в 4-вимірному просторі, коли до розглянутих форматів додається час як фактор трансформації ґрунтового покриву. Адже добре відомо, що в процесі тривалого використання ґрунт втрачає гумус, з'являються нові риси в його морфології, властивостях і режимах. Все це дало підстави виділяти новий тип ґрунтів - агрозем, що з'явився в класифікаціях ґрунтів Росії, Білорусі, України й інших країн. Причому ці зміни в ґрунтовому покриві підсилюють гетерогенність ґрунту у просторі і сприяють виникненню нових границь. Час, тому, стає фактором дискретизації ґрунтового покриву.

З жалем доводиться визнати, що ґрунтовий покрив вивчений в основному як дискретне і дуже слабо як континуальне тіло, особливо якщо його розглядати на своєрідному середньому ієрархічному рівні (маються на увазі просторові неоднорідності багатьох властивостей ґрунтів). Звичайно, це гальмує успішний розвиток уявлень про

горизонтальний профіль ґрунтів і, як наслідок, практичні додатки до точного землеробства. У точному землеробстві формуються уявлення про ґрунтовий покрив як дискретне утворення, тому що мета точного землеробства виявити в полі ділянки з різною родючістю і потім відповідно до цього зробити також дискретною технологію вирощування сільськогосподарських культур. Дискретність у цих уявленнях - вимушена міра, тому що так зручніше і простіше реалізувати постулати точного землеробства. Разом з тим ці уявлення інакше як штучною трансформацією континуального ґрунтового покриву в дискретний назвати не можна. Таким чином, - примусова дискретизація ґрунтового простору на картах є наслідком штучних процедур і легенд. В дійсності в більшості випадків реальний ґрунтовий покрив має континуальний характер і не має границь. Зміни в ньому носять винятково поступовий характер.

### **1.2. Будова і мікробудова ґрунту**

З численних характеристик, що створюють уявлення про будову ґрунту зупинимось на декількох, а саме: профілю ґрунту, його складенню, поровому просторі, глибині горизонту, доступного для коренів.

Нормальний профіль – це найбільш розповсюджений тип будови ґрунтового профілю, у якому є повний набір генетичних горизонтів, характерних для даного типу ґрунтоутворення, за нормальної для даних ландшафтних умов потужності горизонтів. Прикладом може служити переважна більшість ґрунтів України. Це профіль зрілих ґрунтів, що мають значний вік.

Слабо диференційований профіль характерний для ґрунтів, що формуються на материнських породах, збіднених на легко вивітрювані мінерали. Такими породами з малим мінеральним резервом можуть бути, з одного боку, піски, особливо кварцові, а з іншого боку – древні фералітні кори вивітрювання. І в тім і в іншому випадку формується досить розтягнутий монотонний профіль, що практично не розчленовується на горизонти, з дуже поступовим переходом від малопотужного й слабо

розвиненого поверхневого гумусо-акумулятивного горизонту до непорушеної ґрунтоутворенням породи.

Порушений (еродований) профіль мають ґрунти, що піддаються водній, вітровій або технічній (сповзання ґрунту за схилом після обробітку) ерозії. У цьому випадку знищена верхня частина ґрунтового профілю: за слабкої ерозії – частина горизонту Н, за середньої - весь горизонт Н і частина горизонту Н<sub>р</sub>, за сильної - горизонти Н і Н<sub>р</sub>.

Складанням називається зовнішнє виявлення щільності й пористості ґрунту.

За будовою розрізняють ґрунти: тонкопористі (переважають пори діаметром менше 1 мм); пористі (1 – 3 мм); губчаті (3 – 5 мм); ніздрюваті (5 – 10 мм); коміркуваті (більше 10 мм); трубчасті (червороїни); тонкошаруваті (шпарини завширшки менше 3 мм); шпаруваті (3 – 5 мм); щілюваті (шпарини завширшки більше 10 мм).

За щільністю ґрунти поділяються на пухкі (ніж заглиблюється в масу ґрунту без зусиль, яма копається легко); ущільнені (ніж входить на всю довжину леза (15 – 20 см) з помітним зусиллям); щільні (у ґрунт лезо ножа входить тільки на 5 – 6 см); дуже щільні, або злиті (копати яму лопатою майже неможливо, доводиться використовувати лом; лезо ножа заглиблюється в масу ґрунту на 1 – 2 см); розсипчасті (при скиданні з лопати маса ґрунту легко розпадається на структурні елементи; така будова характерна для піщаних і супіщаних ґрунтів).

Залежно від площі пор на стінках розрізу, будова горизонтів може бути зливою (пори візуально не визначаються); пористою (площа пор займає менше половини площі зрізу); дуже пористою (площа пор займає більше половини площі зрізу).

Глибина горизонту вимірюється в сантиметрах від верхньої до нижньої його межі. Глибина окремих горизонтів свідчить про напрямок, інтенсивність ґрунтових процесів і агрономічну цінність ґрунту. Отже, глибокий гумусовий горизонт вказує на інтенсивну акумуляцію гумусу та

поживних речовин, наявність глибокого і добре вираженого ілювіального горизонту говорить про інтенсивні процеси вимивання і низьку родючість ґрунтів.

Загальна глибина профілю ґрунту вимірюється від поверхні до материнської породи і залежить від напрямку ґрунтоутворного процесу і стадії розвитку ґрунту.

Глибина кореневмісного шару – найважливіший ґрунтово-агрономічний критерій, що характеризує придатність ґрунтів для вирощування сільськогосподарських культур. У землеробській практиці ґрунт здавна оцінювали за глибиною шару, що піддається освоєнню коріннями культур. Потужність гумусованої частини профілю – найбільш об'єктивний показник здатності коріння використовувати максимальний об'єм ґрунту для забезпечення надземної частини рослин водою й елементами живлення. Чим більше можливостей кореневої системи для росту в глибину, тим вище адаптивний потенціал рослини, його здатність вистояти навіть в умовах жорсткої посухи. Адже в глибині ґрунту завжди є деякий запас доступної вологи.

Також важливий глибокий кореневмісний шар і в зоні достатнього зволоження. Адже тут, як відомо, домінують ґрунти підзолистого типу, у яких на невеликій глибині (не глибше 20-25 см) розташовується ілювіальний горизонт – кислий, щільний, практично недоступний для проникнення коріння. Саме тому за обробітку завжди прагнули до створення глибокого кореневмісного шару зі сприятливими властивостями. Звичайно, на цьому тлі значно сприятливіші чорноземні ґрунти, де обмежень для росту коріння у глибину, за винятком плужної підшви, практично немає.

Класи придатності ґрунтів за глибиною кореневмісного шару, а також деякими іншими ґрунтово-кліматичними параметрами обрані на основі рекомендацій ФАО, які використовуються для визначення порівняльної продуктивності ґрунтів світу (табл.1.2.1).

**Класи придатності ґрунтів для вирощування польових культур**

Порядковий номер критерію	Критерії	Одиниці виміру	Клас придатності земельної ділянки	Для вимогливих культур	Для маловимогливих культур
1	2	3	4	5	6
1	Глибина кореневмісного шару	см	найкращий середній гірший	>65 65-35 <35	>50 50-20 <20
2	Рівноважна щільність будови кореневмісного шару (0-50 см)	г/см <sup>3</sup>	найкращий середній гірший	1,0-1,2 1,2-1,4; <1,0 >1,4	1,1-1,3 1,3-1,5; <1,1 >1,5
3	Середньо багаторічний уміст продуктивної вологи в шарі 0-20 см перед сівбою	мм	найкращий середній гірший	≥ 40 40-30 <30	≥ 30 30-20 <20
4	Так само у шарі 0-100 см під час формування генеративних органів	Так само	найкращий середній гірший	≥ 160 160-100 <100	≥ 130 130-70 <70
5	Температура приземного шару під час сівби й сходів культур	°С	найкращий середній гірший	14-16 10-14 <10	8-10 5-8 <5
6	Так само під час формування генеративних органів	°С	найкращий середній гірший	22-24 18-22 <18	15-18 10-15 <10
7	Сума активних температур для культур короткого вегетаційного періоду	°С	найкращий середній гірший	2200-2600 1200-2200 <1200	1200-2000 900-1200 <900
8	Так само для культур довгого вегетаційного періоду	°С	найкращий середній гірший	2600-3200 2200-2600 <2200	1600-2000 1300-1600 <1300
9	Число днів з вологістю оптимального кришення під час обробітку	дні	найкращий середній гірший	>20 20-5 <5	

**1.3.Гранулометричний склад**

Гранулометричний склад - soil texture або particle size distribution - відособлені шматки, шматочки (осколки) порід і мінералів, а також аморфних з'єднань, всі елементи яких перебувають у хімічному взаємозв'язку.

Гранулометричні елементи успадковані з материнської породи в результаті фізичного, хімічного й біологічного вивітрювання.

Поняття гранулометричного елемента - умовне, тому що його існування визначається способом витягу із ґрунту.

Твердофазні продукти ґрунтогенезу є полідисперсними, тобто складаються з різних за розміром і формою частинок — піску, пилу, мулу. У деяких специфічних, наприклад, гірських, типах ґрунтів такими частинками можуть бути досить великі уламки порід і первинних мінералів, але в переважній більшості ґрунтів тверді фази репрезентує собою суміш дрібноземистих частинок різного розміру, названих механічними елементами. Подібні за розмірами і властивостями елементи об'єднують у механічні фракції. У вільному стані механічні елементи перебувають практично лише в пісках, а в більшості ґрунтів вони з'єднані в структурні агрегати, різні за величиною, формою, міцністю. Великі агрегати можна зруйнувати механічним способом або розмочуванням у воді. Але в мікроагрегатах менше від 0,25 мм окремі часточки утримуються досить міцно. Для їх дезагрегації застосовують спеціальну хімічну обробку, яка дає змогу визначити кількість механічних елементів у ґрунті в ході гранулометричного (гранула — зерно, грудочка, механічний елемент) аналізу.

Докладну класифікацію механічних елементів В.Р. Вільямса удосконалив Н.А. Качинський (табл. 1.3.1).

Таблиця 1.3.1.

**Класифікація механічних фракцій ґрунту,  
мм (за Н.А. Качинським)**

Каміння	> 3 (2 – 3)	Пил: крупний (піщаний) середній дрібний	0,05-0,01 0,01-0,001 0,001-0,005
Гравій	3-1	Мул (глина + гумус): грубий тонкий	<0,001 0,0005-0,001
Пісок: крупний середній дрібний	1-0,5 0,5-0,25 0,25-0,05	Колоїди	<0,0001

Скелетна частина ґрунту представлена частками більш як 1 мм у діаметрі (частинки менше від 1 мм називають дрібноземом). Гравійно-кам'яниста частина, пісок, пил і мул дуже відрізняються між собою мінералогічним складом. Камені складаються з окремих уламків ортоклазу, альбіту, анортиту, слюд та інших первинних мінералів. Зменшення розмірів мінеральних частинок до піщаної та пилюватої розмірності супроводжується збільшенням вмісту в них кварцу. Мул є сумішшю глинистих мінералів, гідрослюд, лимоніту, піролюзиту, псиломелану, гідроаргіліту, вапна, опалових та інших збагачених біогенними елементами мінералів. Це урізноманітнює хімізм окремих механічних фракцій в тому самому ґрунті.

Дані табл. 1.3.2 і 1.3.3 засвідчують, що фракції дрібнозему збагачуються сполуками півтораоксидів ( $R_2O_3 = Fe_2O_3 + Al_2O_3$ ) та інших, передусім біофільних елементів, які становлять трофічну основу мінерального живлення рослин. Екологічно знаковою тут є та обставина, що в дрібних фракціях ці сполуки перебувають у формі, доступній (більш розчинній тощо) для рослин.

Таблиця 1.3.2.

#### Хімічний склад окремих механічних фракцій, %

Фракції	C	SiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0,25-0,01	3,12	77,42	10,68	4,81	1,01	0,11
0,01-0,005	5,29	62,21	17,34	7,65	2,03	0,23
<0,001	10,11	38,98	24,85	14,09	5,10	0,32

Таблиця 1.3.3.

#### Хімічний склад різних ґрунтів, %

Ґрунт	C	SiO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Чорнозем	4,80	63,20	17,47	—	0,218	
в т.ч. <0,001	7,09	42,78	25,98	—	0,404	
Світло-сірий опідзолений	—	81,67	12,08	1,22	0,16	1,85
в т.ч. 0,05-0,01	—	85,91	8,37	0,57	сліди	1,44
в т.ч. <0,001	—	59,86	31,37	4,03	0,44	2,36

У нормальних (зональних) ґрунтах зазвичай чітко виділяють три фракції: піщану, пиловату, муловату. Четверта (кам'яниста) фракція присутня лише в ґрунтах, де вміст часточок більших за 2-3 мм перевищує 0,5 %. Їх поділяють на слабо- (0,5-5,0 %), середньо- (5-10 %), сильно кам'янисті (> 10 %, частково 8 %). Залежно від характеру скелету ці ґрунти можуть бути кам'янистими, валунними та галечниковими (рінняковими).

Названі фракції характеризуються не лише різною мінералогією та хімізмом, а й фізико-механічними властивостями.

Гравій та камені характеризуються великою (провальною) водопроникністю, відсутністю капілярного підтягування води і дуже малою вологоємністю.

Піщана фракція має значну водопроникність, швидке капілярне підтягування води, хоч і на незначну (до 40 – 50 см) висоту. У воді фракція піску не набухає, вона не пластична, не липка і не дає усадки (не збігається) при висиханні. Пісок є або текучим (з водою) або сипучим (у сухому стані).

Пиловата фракція має значно більшу, ніж у піску, швидкість капілярного підтягування води і меншу водопроникність. Вона здатна до утворення пливунів з водою, а в сухому стані є твердою та щільною. Пластичність та прилипання дуже слабкі, майже відсутні.

Мул з водою набухає, стає водопроникним, має велику пластичність, капілярну воду підтягує дуже повільно, але на значну висоту. Вологий мул є дуже липким, а сухий - дуже твердим. При висиханні дає велику усадку.

Н.А. Качинський виділив за фізичними показниками всього дві фракції - фізичної глини (< 0,01 мм) та фізичного піску (> 0,01 мм), які за деякими параметрами мають альтернативні характеристики (табл. 1.3.4).

**Деякі параметри фізичної глини та фізичного піску**

<b>Показник</b>	<b>Фізична глина (до 0,01мм)</b>	<b>Фізичний пісок (понад 0,01)</b>
Пористість	Висока (капілярна)	Помірна (некапілярна)
Зв'язність сухої	Висока	Низька
Зв'язність вологої	Низька	Висока
Пластичність	Висока	Низька
Усадка	Висока	Слабка
Водопроникність	Дуже низька	Дуже висока
Вологоємність	Висока	Невисока
Водопідйомність	Повільна, висока	Швидка, невисока
Уміст SiO <sub>2</sub> , %	До 40	Понад 90
Уміст R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	До 40	До 10
Мінерали	Вторинні	Первинні, кварц
Трофність	Висока	Низька
Фітоіндикація	Аргілофіти	Псамофіти
Терміка	Холодні	Теплі
Обробіток	Важкий	Легкий

Уміст механічних елементів у ґрунтах у відсотках називають гранулометричним складом. Значного поширення у вітчизняному ґрунтознавстві набула класифікація І.А. Качинського, в основу якої було покладено вміст та співвідношення фізичного піску і фізичної глини з урахуванням типу ґрунтоутворення (степового - дернового - чорноземного, підзолистого, фералітного, солонцювого). За суцільного обстеження ґрунтів України в період 1957 – 1961 р. використовували класифікацію М.М. Годліна (табл. 1.3.5).

Коротку назву різновидності ґрунту за гранулометричним складом подано за вмістом фізичного піску (ФП) та глини (ФГ) (їх сума завжди дорівнює 100%). Крім того, в назві можна відобразити наявність двох найбільш вагомих фракцій. Наприклад, завдяки аналізу виявлено, що гранулометричний склад верхнього (0-10 см) гумусового шару чорнозему типового (повна назва: чорнозему типового важкосуглинкового крупнопилувато-мулуватого) може бути представлений

фракціями, поданими у табл. 1.3.6.

Таблиця 1.3.5.

**Класифікація за гранскладом ґрунтів різної генези, % фізичної глини\***

Різновид ґрунту	Степовий, фералітний	Підзолистий	Солонцювий	Мул, %	Обробіток	Фітоіндикатори
Піщаний**	0 – 10	0 – 10	0 – 10	<5	Легкий	Псамофіти
Супіщаний	10 – 20	10 – 20	10 – 15	5 – 10		
Легкосуглинковий	20 – 30	20 – 30	15 – 20	11 – 19	–	–
Середньо-суглинковий	30 – 45	30 – 40	20 – 30	20 – 27		
Важко-суглинковий	45 – 60	40 – 50	30 – 40	28 – 35	Важкий	Аргілофіти
Легкоглинистий	60 – 75	50 – 65	40 – 50	36 – 45		
Середньо-глинистий	75 – 85	65 – 80	50 – 65	46 – 55		
Важкоглинистий	>85	>80	>65	>55		

\* Вміст фізичного піску = (100% - % фізичної глини); фізична глина - за Н.А. Качинським, мул — за М.М. Годліним.

\*\* 0-5% — пухко-піщаний, 5-10 - зв'язно-піщаний.

Таблиця 1.3.6.

**Гранулометричний склад верхнього (0-10 см) гумусового шару чорнозему типового**

ФП	Пісок	Середній + крупний	>0,25	3,40	43,19
		Дрібний	0,25-0,05	5,77	
	Пил	Піщаний (крупний)	0,05-0,01	34,02	
ФГ	Пил	Середній	0,01-0,005	6,83	56,81
		Дрібний	0,005-0,001	14,07	
	Мул		<0,001	37,9	
Всього					100,00

Класифікація Н.А. Качинського є суто генетичною. У ній враховано здатність глинистої фракції до агрегування при підвищенні гумусованості і великій кількості коагуляторів (Са - в чорноземах, Fe - у червоноземах), а також її легку пептизованість Na (у солонцюватих ґрунтах). Саме через це за однакового (скажімо, 59 %) вмісту фізичної глини в підзолистих,

чорноземних та солонцюватих ґрунтах за гранулометричним складом їх ранжирують по-різному: чорнозем важкосуглинковий, підзолистий легкоглинистий, солонець середньоглинистий. Тобто ґрунти стають важчими за однакового вмісту фізичної глини з насиченням їх  $H^+$  у підзолистих ґрунтах і  $Na^+$  у солонцюватих.

Ця обставина пояснює той факт, що ґрунти стають важчими значно швидше саме при осолонцюванні. Наприклад, при 16% фізичної глини чорноземи і підзолисті ґрунти є ще супіщаними, а солонці - вже легкосуглинковими (крок переходу до наступної градації зменшується спочатку з 10 до 5 %, далі з 15 до 10 % і вирівнюється з іншими генетичними типами ґрунтоутворення лише на рівні середньоглинистого гранулометричного складу, що дорівнює за кроком середньосуглинковій градації чорноземного типу. Ці порівняння свідчать однозначно про те, що агрономічні якості чорноземів залишаються значно кращими, ніж у солонців, підзолів та ін. за досить значного вмісту фізичної глини, бо їх зерниста (завдяки Са) структура створює імітацію полегшення гранулометричного складу. Це означає, що агрономи мають враховувати фізико-механічні властивості (прилипання тощо), а отже, гранулометричний склад ґрунтів.

Гранулометричний склад ґрунтів накладає певний відбиток на перебіг ґрунтоутворних процесів, а також має чітко визначене екологічне та певне (нерідко вирішальне) сільськогосподарське, передусім агрономічне значення, оскільки в тих самих природних умовах, але за різного стартового гранулометричного складу материнської породи формуються ґрунти з різними властивостями.

Кам'яністі ґрунти гірських та передгірних районів Карпат, Криму, Донбасу, УКЩ, Російського нечорнозем'я, на Кавказі, Уралі важко обробляються, на них сильно зношуються сільськогосподарські знаряддя, а тому тут є сенс збирати каміння, використовуючи його при будівельних та інших господарських, в тому числі екодизайнових роботах.

Гравійні ґрунти є легкими в обробітку, хоча загалом їх властивості несприятливі для землеробства, однак, в інших галузях народного господарства перспектив для використання є чимало (заслуговує на увагу природоохоронний, рекреаційний, фітомеліоративний та інші аспекти землекористування).

Піщані та супіщані ґрунти придатні для великого кола сільськогосподарських, лісових, плодкових, лікарських, квіткових та інших рослин-псамофітів, вирощуванню яких не заважає їх природна безструктурність, а легкість обробітку та доступність для рослин навіть малих запасів вологи робить ці ґрунти привабливими для освоєння, на перешкоді якому завжди постає їх крайня трофічна збідненість, малогумусність (гумус інтенсивно мінералізується в умовах сильного аеробіозису таких ґрунтів), податливість дефляції (розвіювання вітром). Вони швидко прогриваються, що дуже цінується на Півночі (в лісотундрі їх вважають найліпшими ґрунтами), але вони швидко втрачають вологу через сильну водопроникність. У жарких пустелях та напівпустелях у пісках створюється сприятливий режим зволоження за рахунок нічної конденсації водяних парів з повітря, у зв'язку з чим для рослин у таких екологічних умовах вони є кращими, ніж глинисті ґрунти.

Пилуваті ґрунти мають дещо вищу трофічність і кращі фізико-хімічні показники, проте їх дефляційна податливість, схильність до замулювання, утворення кірки, ущільнення та зменшена доступність води для рослин є досить серйозними агроекологічними вадами.

Найбільшу роль у формуванні родючості ґрунтів відіграє фракція мулу, на яку збагачені ґрунти від середньосуглинкових до важкоглинистих. Мул з його високою вбирною здатністю містить багато поживних речовин для рослин. Саме до складу мулу входять колоїди — «жива плоть ґрунту» (О.Н. Соколовський). Вони дійсно мають унікальний екологічний вплив на ґрунтоутворення, передусім своєю участю у формуванні структури — оструктурені ґрунти навіть за високого вмісту

мулу мають сприятливі фізико-механічні, водно-повітряні, мікробіологічні властивості на відміну від дезагрегованого, розпиленого ґрунту, у якого ці властивості вкрай несприятливі.

Важкосуглинкові та глинисті ґрунти збагачені на поживні речовини і завжди є більш гумусованими, саме на них формуються зональні фітоценози і ґрунти; вони мають високу вологоємність, значну зв'язність, але для води є слабкопроникними, їх безструктурні варіанти схильні до запливання та утворення агрономічно шкідливої кірки; легко ущільнюються, налипають на сільськогосподарські знаряддя, не пропускають повітря до коренів, є холодними (вони перезволожені, а на випаровування витрачається багато тепла) — все це зводить нанівець високу трофність (поживне багатство) цих ґрунтів, обробіток яких настільки затратний, що їх називають важкими ґрунтами. У цілому вони є такими ж незручними для сільськогосподарського використання, як і легкі, трофічно збіднені, піщані ґрунти. Проте це зовсім не стосується глинистих та важкосуглиннистих ґрунтів з агрономічно цінною грудкувато-зернистою структурою, класичним прикладом яких є чорноземи Лісостепу та Степу в їх цілинних варіантах.

Із безструктурних ґрунтів, мабуть, лише середньосуглинкові наділені сприятливими агроекологічними властивостями, а в забезпеченому вологою Поліссі — навіть легкосуглинкові.

Глинисті ґрунти оцінюють неоднаково в різних ґрунтово-біокліматичних поясах і зонах. На півночі Російської Федерації та Західної Європи їх вважають малоприсадними для сільськогосподарських культур, незважаючи на значно менший вміст у них фізичної глини порівняно з чорноземами.

Дещо несподіваним є вплив гранулометричного складу на агрофізичні властивості збагачених на залізо червоноземів, наприклад Західної Грузії (вологі субтропіки): ці ґрунти, незважаючи на високий вміст у них мулу, не налипають на знаряддя обробітку, є непластичними,

легко обробляються, мають високу пористість, а отже, є настільки добре проникними для води та повітря, що часом страждають від дефіциту води, незважаючи на величезну кількість опадів, що випадають тут (1000 – 2500 мм/рік). Пояснюється це тим, що колоїдні гідроксиди заліза при коагуляції утворюють міцні згустки «псевдопіску», який на відміну від справжніх піщинок, є пористим і містить або воду, або повітря.

Гранулометричний склад є стабільною ознакою ґрунту, успадкованою від материнської породи. Ґрунтогенез може призвести до певного перерозподілу по профілю, наприклад, мулу (у підзолистих, солонцюватих, лесивованих ґрунтах), а тепер людина здатна і докорінно змінювати гранулометрію ґрунту. Це зробило можливим докорінне поліпшення безструктурних піщаних ґрунтів глинуванням, а глинистих, навпаки, піскуванням. У заплавах річок Кура й Ріоні в Грузії було створено штучні кольматаційні ґрунти акумуляцією та нарощуванням у них мулу під час повеней. Такі самі можливості існують у Карпатах. Поінформованість щодо гранулометричного складу ґрунто-підґрунтя є обов'язковою передумовою оптимального добору сільськогосподарських культур для різних ґрунтів в екологізованих моделях землекористування.

#### **1.4. Структура ґрунту**

Механічні елементи ґрунту можуть перебувати в роздільному стані (піщані, супіщані різновидності) або бути об'єднаними під впливом суто ґрунтогенних чинників у грудочки, призми та інші структурні агрегати різної форми та розміру (суглинкові, глинисті ґрунти, які проте можуть бути також і безструктурними або малоструктурними). Поняття структури має поліфункціональне тлумачення — генетичне, екологічне, агрономічне, меліоративне. Генетична характеристика структури є одним з головних діагностичних морфологічних показників ґрунту, так само як і агрономічний аспект, давно помічений на практиці — структура оптимізує фізичні властивості ґрунтів та всі його екологічні режими (передусім водно-повітряний). Структура є синонімом родючого ґрунту, сприятливого

для росту і розвитку рослин. Уже в роботах В.В. Докучаєва і П.А. Костичева було проставлено головні акценти на ролі структури в оформленні позитивних агрономічних якостей ґрунту. Докладно роль грудкувато-зернистої структури в родючості ґрунту дослідив В.Р. Вільямс, що надихнуло в подальшому на розробку теорії оструктурювання ґрунтів (К.К. Гедройц, О.Г. Дояренко, М. Пігулевський, І.М. Антипов-Каратаєв, С.О. Захаров, С.С. Нікіфоров, Н.А. Качинський, Н.І. Савінов, П.В. Вершинін, Л.Д. Бейвер, А.Ф. Тюлін, Д.В. Хан, О.Н. Соколовський, О.М. Гринченко, Е. Рассел, Ф. Дюшофур, В. Кубієна, Р. Брюєр, Є. Мюкенхаузен, І. Ліберот).

Структурність ґрунту — це його властивість розпадатися на грудки, а структура — ґрунтові грудочки або агрегати різної величини і форми, варіативно сполучені в ґрунтовому горизонті. Якщо грудочки не розпадаються у воді, пористі, механічно міцні і мають розмір 0,25 – 10 мм, то за М.І. Савіновим їх слід вважати агрономічно цінними макроагрегатами. Структурні окремоності > 10 мм є брилами, < 0,25 мм — пилом (мікроагрегатами). С.О. Захаров виділив за співвідношенням осей три діагностичні типи структури: кубоподібну (три вісі однакові), призмоподібну (сильніше виражена вертикаль), плитоподібну (чітко оформлена горизонтальна вісь), кілька родів (за формою) та видів (за розміром). Цю класифікацію удосконалювали В.А. Ковда, Б.Г. Розанов, Г.С. Гринь та інші вчені, стилізовані уявлення яких представлені так:

I. Грудкувато-глибиста (однакові крупні вертикальні та горизонтальні вісі, слабо або зовсім неоформлені ребра): крупно- (> 10 см) та дрібноглибиста (10 – 1 см).

II. Зернисто-грудкувата (округло оформлені агрегати з однаковими осями): грудкувата (неправильно округлі, нерівні, шершаві, рихлі, шпаруваті агрегати): крупногрудкуваті (10 — 3 мм), грудкуваті (3 – 0,25 мм), пилуваті (< 0,25 мм); зерниста (правильно округлі агрегати 1-го порядку, складені дрібнішими добре оформленими багатограними

агрегатами — шершавими, матовими, рихлими, ущільненими у глинистих ґрунтів): крупнозерниста (5 – 3 мм), зерниста — крупоподібна (3 – 1 мм), дрібнозерниста — порохоподібна (1,0 – 0,5 мм).

III. Горіхувата (крупні, кубоподібні, з трьома рівними вісями агрегати, з гладенькими лакованими блискучими площинами, гострими ребрами та кутами, злиті — монолітні — непористі, тверді при висиханні): крупнопухувата (10 – 7 мм), горіхувата (7 – 5 мм), дрібногоріхувата (5 – 3 мм).

IV. Призмоподібна (крупні, вертикально витягнуті, різко грановані щільні при висиханні, гладенькі, нерідко лаковані, злиті малопористі агрегати з гострими ребрами та гранями): призматична — крупнопризматична (5 – 3 см), призматична (3 – 1 см), дрібнопризматична (1 – 0,5 см), олівцева (довжина > 5 см, ширина 1 см); стовпчаста (правильно оформлені чітко грановані крупні гладенькі, глянцеві вздовж вертикалі, зверху округло головчасті припудрені крем'янковим порошком, з плоскою підшоною, злиті, дуже тверді при висиханні) — тумбоподібна (> 10 см), крупностовпчаста (10 – 5 см), стовпчаста (5 – 3 см), дрібностовпоподібна (< 3 см).

V. Плитоподібна (плоскі, тонкі, пухкі, неграновані агрегати із чітко оформленими горизонтальними пухкими матовими площинами, припорошеними борошнистою крем'янкою, з рідкими вохристими плямами): плитчаста (5 – 3 мм), пластинчаста (3 – 1 мм), листоподібна (1 мм), лускувата (вигнуті агрегати 3 – 1 мм).

VI. Клиноподібна (плоскі, крупні, товсті, злиті, щільні сухими, пухкі вологими, різко косограновані, грані рівні з Fe – Mn пунктацією від оглеєння, ребрата кути гострі): крупноклиноподібні (2 – 1 см вздовж короткої вісі), клиноподібна (1 см), лукакова (10 – 5 мм), плиткова (5 – 3 мм).

Структура в ґрунті утворюється через взаємодію двох протилежних процесів — злипання маси та її подрібнення до вигляду агрегатів. Перший

процес охоплює складний комплекс процесів поступового зчіплювання механічних елементів у повній відповідності до колоїдно-хімічної теорії структуроутворення, якої дотримувалися К.К. Гедройц, О.Н. Соколовський, Н.А. Качинський. Другий процес призводить до утворення агрегатів і є аналогом фізико-механічного подрібнення ґрунтової маси згідно з уявленнями В.Р. Вільямса, П.С. Косовича, С.О. Захарова. Механічні елементи злипаються в суцільну масу під дією коагуляції (флокуляції), що приводить до утворення невеликих за розміром нестійких агрегатів. Злипання відбувається також при цементації, якщо між механічними елементами є прошарок, здатний при висушуванні переходити в нерозчинний стан. У злипанні механічних елементів важливу роль відіграють капілярні сили. Навіть сипучі піски при зволоженні утримуються в суцільній масі. У місцях контакту твердих часток при змочуванні ґрунту формуються меніски, під якими тиск рідини знижується і частки зазнають надлишку зовнішнього тиску, що й утримує їх разом. У разі перезволоження ґрунтова маса знову повертається до роздільно часткового стану.

Злипанню та склеюванню сприяють також і ван-дер-ваальсові (міжмолекулярні) сили, тим більші, чим більшою є поверхня склеювання і міцніші речовини, що клеять. Цьому ж сприяє деякий рівень зволоження, коли частки можуть орієнтуватися певним чином, а також тиск шару, що лежить зверху. Неабияке значення має також і склад поглинених катіонів. Коли в ГВК домінує Са, водостійкість і механічна міцність утвореної від склеювання маси є більшою. Без наявності в ґрунті інших механізмів після склеювання утворилася б суцільна маса, позбавлена агрономічної цінності. Однак злипання часточок ґрунту є лише початком агрегатоутворення, яке триває при висушуванні-зволоженні, усадці-набряканні, замерзанні-відтаванні, тиску коренів, землерійів, ґрунтообробних знарядь тощо.

Формування агрегатів при подрібненні А.Д. Воронін пояснює так. Змінне висушування-зволоження сприяє розриву слабких зв'язків між

злипними частками ґрунту, внаслідок чого утворюються тріщини за рахунок формування площин послаблення осей зрушення. Водночас у певних місцях частки зближуються, а отже, зв'язки між ними зміцнюються. За осями зрушення формуються грані майбутніх агрегатів і поровий простір, що надалі фіксується водяними потоками, відкладеннями дрібнодисперсних часток, гумусовими речовинами, кореневими волосками тощо. Грані макроагрегатів (педів) збагачуються мулистими частками (кутани), дрібнодисперсним мулом, вільним ферумом і гумусом (Marshal, Boul, Brewer та ін.). Характер і напрямок тріщин, а відповідно, і форма агрегатів залежать від інтенсивності процесів висушування, гранулометричного складу, вмісту найактивнішої високодисперсної частини ґрунту — колоїдів. Якщо ґрунт містить значну кількість глинистих мінералів типу каолініту з низькою ЄКО, заповненою переважно катіонами водню, він набуває неоднорідної пористої будови за рахунок хаотичного розташування глинистих часточок, зумовленого їх коагуляцією шляхом взаємодії між негативно зарядженими площинами і позитивно зарядженими ребрами. У результаті при висушуванні площин послаблення і тріщин зникає скільки-небудь спрямована орієнтація, внаслідок чого утворюється безліч тріщин, а водночас і агрегатів багатогранної форми. Навпаки, дрібнодисперсна фракція, складена мінералами груп іліту і монтморилоніту з високою ЄКО, насичених кальцієм, характеризується неоднорідною, ущільненою, малопористою будовою, зумовленою коагульованою плазмою і паралельним упорядкуванням глинистих мінералів. Така структура глинистої фракції сприяє утворенню чітких, прямих, перпендикулярних тріщин першого і слабо оформлених між ними тріщин другого порядку, що сприяє кубоподібному агрегуванню.

Насичення ГВК  $Na + Mg$  сприяє ущільненню плазми та паралельному упорядкуванню глинистих часток, розбитих прямими великими вертикальними тріщинами в призмоподібних агрегатах, які,

висихаючи, стають дуже твердими. У ґрунтах, збагачених дрібноземистими оксидами заліза, утворюється залізисто-глиниста плазма, яка виконує роль містків між зернами кварцу, що призводить до утворення надзвичайно пористої матриці з нечастими неправильними тріщинами без будь-яких площин неміцності. Гумусованість і карбонатність глинистої плазми сприяє утворенню пухкої, неорієнтованої матриці, з якої формуються багатогранні агрегати. У гумусово-аккумулятивних верхніх горизонтах (чорноземів) утворюється зерниста, а в карбонатних — горіхувата структура. О.Н. Соколовський акцентував увагу на наявній значній ролі колоїдного гумусу в структуроутворенні. Активний гумус проникає в грудочки, склеює їх, а «старіючі» (пасивуючись), надає їм водостійкості.

Помітний вплив на відокремлення макроагрегатів ґрунту чинить його замерзання-відтавання. Вода, збільшуючись в об'ємі при замерзанні, сприяє розриву зв'язків між частками та виникненню різних за розмірами тріщин. Надалі при відтаванні ґрунту ці тріщини сприяють утворенню площин послаблення і оформленню структурних частинок. Ступінь і характер впливу проморожування ґрунту на утворення агрегатів залежать від багатьох чинників, але передусім від ступеня його зволоження, найпомітніше виявляючись за деякої її середньої величини. В разі невеликого вмісту води утворюється незначна кількість льоду, а отже, його вплив на об'ємні зміни в ґрунті є за таких умов несуттєвим. Зате при перезволоженні льодоутворення відбувається майже одночасно у всій масі ґрунту, фіксуючи його цим і зупиняючи утворення тріщин. За оптимального зволоження вода міститься в капілярних порах, утворюючи великі (більші за розмір шпар) кристали льоду, що й призводить до розриву зв'язків між частками і мікроагрегатами та утворення тріщин, розчленовуючи тим самим ґрунт на структурні окремість. При проморожуванні ущільнених ґрунтів великих агрегатів у ньому стає значно більше, а в пухких ґрунтах утворюються оптимальні за розмірами агрегати.

Істотну роль у макроагрегуванні ґрунтів відіграють біоагенти (передусім кореневі системи рослин, особливо трав'янистих). Пронизуючи ґрунт, корені розділяють його в одних місцях і стискають в інших, локально висушують, наповнюють органічними речовинами. Поширюючись в усіх напрямках, вони надають агрегатам форми грудочок або зерен, зв'язують мікроагрегати, сприяючи як механічному зміцненню агрегатів, так і оформленню їх водостійкості. Таку саму агрегувальну роль при оструктурюванні відіграють і гіфи ґрунтових грибів.

Ч. Дарвін показав, що дощові хробаки добре оструктурюють ґрунти. Продукти розкладання фіторешток, тварин і мікроорганізмів також зв'язують ґрунтові частки між собою. Зокрема, полісахариди, незважаючи на їх легку податливість мікроорганізмам, додають значної водостійкості природним агрегатам, а їх видалення з ґрунту різко знижує її. Завдяки своїй видовженій лінійній гнучкій будові, ці речовини тісно контактують з ґрунтовими часточками, зв'язуючи їх, немов містками, активно оструктурюючи цим ґрунти.

Ґрунтообробні знаряддя просторово переміщують ґрунтову масу, розчленовують її на структурні окремоті, хоча загалом вплив механічного обробітку на структуру ґрунту є неоднозначним — агрегати не лише утворюються, а й частково руйнуються. Залежно від гранулометричного складу, вмісту гумусових речовин, застосованого знаряддя, вологості ґрунту та інших умов, за яких здійснюється обробіток, процеси створення або руйнування агрегатів можуть мінятися місцями. Більш того, на тому самому ґрунті застосування однакових знарядь дає як брили, так і злигу (монолітну) масу залежно від вологості, за якої зроблено обробіток. Він буде ефективним лише при проведенні за оптимальної для агрегатоутворення вологості ґрунту. Через повсюдні порушення законів обробітку ґрунту загальною є тенденція до подрібнювання і руйнування його структурних агрегатів.

Руйнування структури може відбуватися не лише при

нераціональному (поза вологістю оптимального кришіння) механічному обробітку, а й у разі втрати гумусу, детриту, інших органічних речовин, декальцинації, перенасичення сівозмін просапними культурами, зрошення мінералізованими водами тощо.

Природний ґрунтогенез (особливо гумусово-акумулятивний, дерновий) сприяє формуванню водостійкої структури, передусім у чорноземних, лучних, дерново-карбонатних та багатьох інших ґрунтах, де в найбільш оптимальному комплексі представлені чинниками структуроутворення, через що структурність тут виявляється щонайкраще, оскільки цьому сприяють значна кількість гумусу, переважання гуматів кальцію, висока мікробіологічна активність. При сільськогосподарському використанні ґрунтів починають діяти чинники (механічні, фізико-хімічні, біологічні) руйнування природної структури.

Механічне руйнування здійснюється згаданими вище нераціональними способами обробітку, при катастрофічних зливах та крупнокрапельних поливах. При вирощуванні просапних культур, які потребують великої кількості механічних операцій, руйнування структури стає їх неодмінним супутником.

Фізико-хімічне руйнування спричинюють фізіологічно кислі добрива, одновалентні катіони, кислотні дощі, мінералізація органічних речовин ґрунту.

Незважаючи на переважно руйнівний для структури землеробський вплив, є чимало способів ефективної стабілізації структурного стану ґрунтів. Одним з найдоступніших агротехнологічних заходів збереження і поліпшення структури ґрунтів є їх своєчасна (за оптимальної вологості) культурна оранка (хоча її вплив також є неоднозначним). З одного боку, оранка розпушує ґрунт, сприяючи цим утворенню оптимальних за розмірами агрегатів. Однак, перевертаючи шар, вона виносить на поверхню агрегати, не стійкі проти руйнівної дії дощових крапель і рідкого стоку. При обороті шару та проході ґрунтообробних знарядь унаслідок

стискання ґрунту в підорному шарі утворюється ущільнена плужна підошва. З другого — оранка прискорює розкладання органічних речовин і втрату гумусу, що також призводить до зниження водостійкості агрегатів.

Системи мінімального і нульового обробітку, за яких бур'яни знищують гербіцидами, безумовно послаблюють руйнування агрегатів, проте вони поступово збільшують ущільненість сухого ґрунту, сприяючи цим утраті великих шпар, що лише почасти компенсується безперервністю порового простору, створюваного ходами хробаків і корінням рослин.

Мінімальний і безполицевий обробітки є ефективними заходами охорони ґрунтів від ерозії та дефляції, однак при вирішенні проблем, пов'язаних з інвазіями комах, грибів, паразитів, бур'янів, звичайний плужний обробіток є кращим (особливо для ранніх із сильним розвитком коренів культур). Істотно поліпшують агрегатний склад ґрунтів (підвищують водостійкість агрегатів) багаторічні трави, оптимально включені в сівозміну, — цьому сприяє розгалужена тонковолокниста коренева система конюшини, люцерни, тимофіївки, багатьох інших трав.

Застосування гною є не лише джерелом додаткового живлення рослин і підвищення мікробіологічної активності ґрунтів, а й засобом поповнення запасів гумусу в ґрунтах як основного компонента, що агрегує мінеральну частину матеріалу. Втрати гумусу в разі нераціонального сільськогосподарського використання ґрунтів позначаються насамперед на зниженні водостійкості агрегатів, призводячи до їх руйнування та загального знеструктурування. Поповнення запасів гумусу, достатніх для агрегування (поліпшення структури) ґрунтів відбувається за рахунок систематичного угноєння, яке поліпшує агрономічну цінність структури, активізує мікробіологічну діяльність ґрунту, слугує джерелом утворення гумусу (головного агрегувального агента), діє як добриво, що сприяє інтенсивному розвитку ризосфер культурних рослин, а через їх посередництво — утворенню агрегатів. Великий оструктурювальний вплив чинять торфокомпости, зелені добрива (сидерація), заорювані пожнивні та

інші рослинні рештки.

Агромеліоративними методами оструктурювання ґрунтів є вапнування кислих ґрунтів, гіпсування солонців (загалом кальцинація).

Відновлення структури відбувається не лише під впливом багаторічних, а й меншою мірою однорічних сільськогосподарських культур, передусім таких, як пшениця, соняшник, кукурудза та багатьох інших культурних рослин з добре розгалуженою кореневою системою, яка виявляє чітко виражену оструктурювальну дію. Льон, картопля, капуста та низка інших культур зі слабкою кореневою системою подібного оструктурювального ефекту не дають.

Ефективним є й штучне оструктурювання, технологічно добре розроблене, але не затребуване сільськогосподарською практикою через дорожнечу структуротворників — полімерів та співполімерів з похідних акрилової, метакрилової та малеїнової кислот, у тому числі метакриламід.

Екологічне та агрономічне значення структури. Структурний ґрунт має безліч переваг перед неструктуреним. Насамперед він здатен краще накопичувати вологу атмосферних опадів, утримувати її тривалий час, повніше і якісніше забезпечувати потребу рослин у воді. Навіть за високого рівня зволоження (найменшої вологості) структурні ґрунти зберігають добру аерацію. Завдяки кращому усмоктуванню за інтенсивних злив або при поливі на структурних ґрунтах не буває калюж, не формується поверхневий стік, зберігається підвищена стійкість проти ерозії, а внаслідок переважання у поверхневому шарі грудочок, більших за 1 мм, — також і до дефляції. У структурному ґрунті кращим є не лише водний режим (ліпша водопроникність, вища вологості, менше випаровування), а й явно сприятливішими є умови для перебігу мікробно-біохімічних процесів, причетних до перетворення поживних речовин з недоступних форм у доступні для рослин. Структурні ґрунти обробляються з меншими витратами праці, паливно-мастильних матеріалів, коштів, їх питомий опір оранці є набагато меншим, ніж у

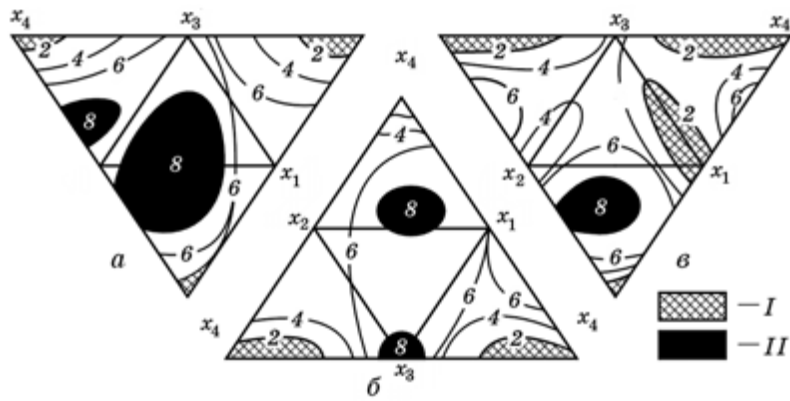
безструктурному ґрунті. У них кращими є умови для проростання насіння, росту і розвитку коренів рослин, через що врожай вирощуваних культур на них формується неодмінно високим і гарантовано стабільним. Це підтверджується експериментальними даними з різних джерел, у яких зіставляли агрономічні властивості структурного ґрунту, складеного з грудочок оптимального розміру (2,0 – 3,0 мм) і безструктурного — з агрегатів < 0,5 мм (табл. 1.4.1.).

Таблиця 1.4.1.

### Порівняння структурного та безструктурного ґрунтів

Показник	Ґрунт	
	структурний	безструктурний
Сумарне випаровування вологи за 10 діб, мм	15	40
Вологість на глибині 10 мм після випаровування, %	30	10
Капілярна шпаруватість, % від загальної	44	92
Повітроємність, % від загальної шпаруватості	33	2,7
Уміст кисню в ґрунтовому повітрі, %	19,2	5,4
Повітропроникність, %	96,0	0
Уміст рухомого фосфору, мг/100 г ґрунту	12,0	7,0
Кількість нітратів, мг/кг ґрунту	132	62
Урожай озимого жита, відхилення від середнього, %	+31,8	-31,8

Однак у реальних ландшафтах винятково структурні або безструктурні ґрунти не зустрічаються — домінують ґрунти, в яких агрономічно цінна макроструктурна фракція становить ту чи іншу частину загальної структури ґрунту. Фактично ж орний шар представлено сумішкою різних структурних агрегатів. Експериментально знайдений оптимум суміші агрегатів ілюструє рис. 1.4.1, де на розгортці тетраедра показано вплив різних співвідношень агрегатів розміром 20 – 5, 5 – 2, 2 – 0,25 і < 0,25 мм (відповідно  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , і  $x_4$ ). Дані у вершинах відповідають однокомпонентному варіанту, на ребрах — подвійній суміші, на гранях — потрійній, у середині тетраедра — чотирьохкомпонентній суміші. Вихід соломи, зерна та поглинання ячменем NPK оптимізуються при домінуванні (до 60%) агрегатів фракцій  $x_2$  і  $x_3$ .



*a*: 2 — 15,3; 4 — 17,6; 6 — 19,9; 8 — 22,2; *б*: 2 — 5,6; 4 — 7,3; 6 — 10,7; *в*: 2 — 112; 4 — 122; 6 — 132; 8 — 142. Зона виходу: *I* — мінімального; *II* — максимального

**Рис. 1.4.1. Ізокванти залежності виходу (г/посудину) соломі (а), зерна ячменю (б) і поглинання НРК (в):**

Це підтверджує висновок К.К. Гедройця про залежність оптимального розміру від зволоження (зменшується при підсиханні), що дає змогу застосовувати ці результати при розробці та запровадження нових знарядь та агротехнологій обробітку ґрунту.

### Географія основних структур у ґрунтах України

#### Брили

Брилистість - здатність ґрунту формувати структурні окремістьі крупніше 10 мм. При дослідженні ґрунтів непорушеної будови (у шліфах) встановлено, що в природних умовах імовірність утворення структурних окремістей таких розмірів украй низка. Максимальна порядковість, характерна для цілинних чорноземних ґрунтів, збагачених кореневими системами, гумусом, тонкодисперсною мінеральною частиною й поглиненим кальцієм (тобто, у самих сприятливих для агрегації умовах), не перевищує 5 - 6. Агрегат з такою порядковістю може мати розмір 5-7, рідше 10 мм. Звичайно, у шліфах установити розмір агрегату досить важко через безперервну губчасту їхню будову, але зі збільшенням розмірності агрегату площі контактів між ними різко зменшуються, що може однозначно свідчити про зменшення їхньої міцності й втрату самостійності.

Тому агрегати крупніше 10 мм на цілині не можна визнати самостійними утвореннями. До речі, при вивченні агрегатів у полі в цілинних умовах і при природній вологості такі агрегати легко руйнувалися навіть при не великому зусиллі.

Інші висновки ми зробимо, якщо, як того вимагає методика Н.І.Саввінова, витягнемо зразок із ґрунту, розімнемо його руками, підсушимо до повітряно-сухого стану й просіємо через набір сит. У цьому випадку брил стане більше. Із цього прикладу зовсім ясно, що вологість ґрунтів і метод дослідження мають велике (якщо не вирішальне) значення для визначення співвідношення структурних окремоостей у ґрунті.

Ми ще більше затвердимось в цій оцінці, коли спробуємо визначити брилистість орних ґрунтів. Недоліки методу стануть ще очевидніше. Насамперед, кількість брил на ріллі в порівнянні із цілиною різко зростає, однак для ґрунтів легкого гранулометричного складу міцність брил при порівнянному розмірі становить не більше 2-3 кПа, у той час як для солонцюватих ґрунтів важкого гранулометричного складу - 30-40 кПа (В.В.Медведєв і ін., 2007). Опіраючись на визначення брилистості при стандартній вологості (повітряно-сухому стані) і ігноруючи розходження в генезисі й міцності брил у ґрунтах різних зон, ми одержуємо уявлення про брилистість, що зовсім не відповідає реальним умовам. Тут важливо не тільки те, що генезис брил у різних ґрунтах різний, але й те, як раціональніше підібрати ґрунтообробне знаряддя і спосіб обробітку для їхнього руйнування.

З огляду на виняткове негативне агрономічне значення брил для землеробської практики, важливо об'єктивно оцінити брилистість орних ґрунтів, її реальну шкоду для вирощуваних культур і зміст агротехнологій, що сприяють їхньому недопущенню або усуненню.

Нагадаємо, що негативний вплив брил зовсім очевидний. За брилистої ріллі неможливо створити міцний запас доступної вологи - вона або провалюється в нижні шари ґрунтового профілю або випаровується.

Неможливо здійснити якісну сівбу польової культури. Сходи рослин виходять недружніми, а їхній розвиток нерівномірним. Для руйнування брил потрібні додаткові обробітки й витрати.

Якщо слідом за Д.И.Буровим (1954) прийняти, що навіть 5% брил роблять явно несприятливий вплив на агрономічно важливі ґрунтові режими, насіння висіяних рослин, їхнє проростання й наступний розвиток, то таких ґрунтів в Україні надзвичайно багато. [До речі, про те, що 5 % брил зовсім не може вважатися завищеною вимогою, свідчать загальноприйняті агрономічні параметри оптимальної передпосівного обробітку (В.В.Медведев і ін., 2007), які передбачають повне виключення брил з посівного шару ґрунтів перед сівбою культури].

Залежно від властивостей ґрунтів і погодних умов брили, повторюємо, розрізняються. У Поліссі на легких ґрунтах брили неміцні й легко руйнуються під дією обробітку. У міру просування до півдня, збагачення ґрунтів тонкодисперсною мінеральною частиною й розвитком солонцюватості брили зміцнюються й у процесі механічного обробітку руйнуються погано або не руйнуються зовсім. При швидкому наростанні температур зміцнення брил настає протягом декількох годин.

У публікації (В.В.Медведев і ін., 2007) була продемонстрована карта брилистості орних ґрунтів України, отримана в рівноважному стані ущільнення й при вологості, трохи нижче фізичної спілості. Незважаючи на те, що визначення брилистості були проведені до піка реалізації потенціалу агрегації в ґрунті, брил в орних ґрунтах України виявилось чимало. Середній вміст брилистої фракції в орних ґрунтах становить 23% з коливаннями від 7 до 68%. Коефіцієнт варіації досить високий - 42%. Зіставляючи карту брилистості з генетичними властивостями ґрунтів, можна констатувати, що брил більше там, де в ґрунтовому поглинному комплексі зростає частка тривалентних катіонів або поглиненого натрію, знижується вміст гумусу й зростає частка фульвокислот у його складі, і, насамперед, там, де велика ймовірність зниженого зволоження під час

обробітку. Остання причина представляється найбільш важливою для формування брилистого орного (посівного) шару.

Як показало узагальнення П.У.Бахтіна (1969), навіть невелике відхилення вологості в момент обробітку від вологості фізичної спілості приводить до утворення брил. Це явище характерно майже для всіх ґрунтів, крім піщаних і супіщаних різновидів. У Степу України, де час перебування ґрунту в стані фізичної спілості дуже нетривале, імовірність утворення брил при обробітку значно зростає. До речі, саме схильність степових ґрунтів до формування брил знижує їхню агрономічну цінність, погіршує водний режим, підсилює мінералізацію гумусу й у цілому знижує їхній бонітет. Необхідність удосконалювання технологій і знарядь обробітку ґрунтів цієї зони - одна з основних причин утворення брил - повинна бути сприйнята як найбільш важливе землеробське завдання, що вимагає рішення.

Говорячи про причини утворення брил, не можна не згадати ще кілька самих різних факторів. Серед ґрунтово-генетичних це - певне співвідношення між піском, пилом і глиною. Тенденція до утворення брил підсилюється, як тільки в ґрунті зростає частка глини або частка піску. Серед технологічних - зайвий глибокий обробіток з оборотом шару, що супроводжується вивертанням на поверхню брил великого розміру, що представляють найбільшу загрозу для ефективного ведення всіх наступних агротехнічних операцій.

Разом з тим, не можна говорити про певну географічну приуроченість утворення брил на ріллі країни. Згідно орієнтовних даних, понад 82% орних ґрунтів країни утворюють брили, причому близько 12% ріллі схильні до цього в значній мірі. Їх при обробітку в таких ґрунтах може утворитися від 31 до 50 (11% площі) і від 51 до 70% (близько 1% площі). Якщо прийняти площу орних земель, рівну 30 млн. га, то це відповідно 3,3 і 0,3 млн. га. Географічно - це солонцюваті ґрунти сухого Степу, Вінницький острів еродованих сірих опідзолених ґрунтів, оглеєні

грунти Передкарпаття й Закарпаття, а також повсюдно багато регіонів Лісостепу й Степу. Лише умовно безструктурні ґрунти Полісся (близько 10% ріллі) і ще близько 6% кращих чорноземів середньосуглинкових з підвищеним умістом гумусу в Лісостепу можна віднести до ґрунтів, де немає небезпеки утворення брил. Однак, тому що фактично брилистість - гостро варіабельна величина, що перебуває в прямій залежності від вологості ґрунтів і способу кришення; необхідно врахувати, принаймні, такі обставини:

- установлені параметри брилистості, що є, по суті, одиничними спостереженнями, виконаними, нагадаємо, при рівноважній щільності й зниженій вологості, не відбивають її реальної динаміки. Як показали дослідження, ці вихідні параметри (рівноважна щільність і знижена вологість) є несприятливими передумовами для якісного кришення. Вони ще раз доводять, що обробіток переущільнених ґрунтів, при вологості, що відхиляється від фізичної спілості, украй небажаний. Такий обробіток утворює брили навіть у чорноземах із сприятливими фізичними властивостями;

- навесні, коли рівень зволоження для більшості оброблюваних ґрунтів близький до фізичної спілості, звичайні передпосівні обробітки (боронування й культивації) здатні утворити високоякісний посівний шар і навіть задовольнити вимоги просапних і мілконасінневих культур, які більше вимогливі до параметрів кришення посівного шару;

- восени перед основним обробітком умови для одержання якісного кришення погіршуються. Правда, й вимоги до кришення орного шару також послабляються, тому що немає ніякої необхідності готувати високоякісний орний шар перед входом в зиму, протягом якої брили звичайно розпадаються.

Таким чином, якщо скористатися фрактальною теорією (подібність дрібних, середніх і великих структурних окремоностей), то брила, як правило, за будовою й властивостям значно відрізняється від своїх

побратимів агрономічно корисного розміру. Вона звичайно має невизначену кутасту форму із численними зовнішніми недосконалостями й порушеннями, позбавлена пор. Звичайно, походження брил не можна зв'язувати із закономірними процесами агрегування органо-мінеральної маси. Скоріше, це результат хаотичного дроблення ґрунту в результаті об'ємних змін або, що ще більш імовірно для орних ґрунтів, - результат проходу в підсушеному ґрунті робочого органа ґрунтообробної машини.

Потенційно на ріллі країни є значні передумови формування брил. Географічно вони найбільше проявляються в аридних умовах і там, де застосовуються нераціональні технології обробітку. Однак, є всі можливості уникнути брил (або, принаймні, зменшити їхній вміст у ґрунті до припустимого рівня 0 - 5%) за умови високоякісного й своєчасного обробітку.

### **Агрономічно цінні фракції**

Середній вміст агрономічно цінної фракції грудочок від 10 до 0,25 мм в орних ґрунтах України становить 64% з розмахом коливань від 29 до 78%. Коефіцієнт варіації оцінюється як середній - 14%. Найбільш високе, близьке до оптимального вмісту цих відзначається в чорноземах типових і звичайних суглинкового гранскладу Лісостепу й північному Степу, збагачених гумусом і поглинутиим кальцієм. Тут воно досягає 70-80% від загального складу структурних окремоостей. У ріллі ґрунтів з такими сприятливими характеристиками близько 21 млн. га із загальної площі, що становить близько 30 млн. га. Характерно, що ареали ґрунтів з найкращими параметрами вмісту структурних окремоостей агрономічно цінного розміру практично повністю збігаються із площею ґрунтів, що характеризуються найбільш високими бонітетами. Цей факт надзвичайно показовий. Він свідчить про важливість структурного складу посівного шару (або що те саме - важливості агрофізичних умов) для формування агрономічних достоїнств ґрунтів, і про коректність підходу до оцінки ґрунтів, що припускає використовувати в якості бонітувальних індикаторів

не тільки традиційні хімічні й фізико-хімічні, але й фізичні показники.

Разом з тим, не слід переоцінювати ці дані, тому що добре відомо, що наявність у складі структурних окремоостей посівного шару лише 5-10% брил уже досить для того, щоб нівелювати високі агрономічні достоїнства таких ґрунтів.

До півночі (північного заходу) і до півдня (південного сходу) від цієї території вміст структур агрономічно цінного розміру помітно знижується до 50-40 % і навіть нижче.

Згідно з даними І.В.Кузнецової (1979), тільки чорноземи здатні в результаті обробітку (підкреслимо: за вологості оптимального кришення) утворити оптимальний посівний шар, придатний для вирощування навіть найбільш вимогливих просапних і мілконасінневих культур. У більшості інших ґрунтів це здійснити неможливо. Однак, і в тих ґрунтах, де потенційні умови для кришення сприятливі, утворити оптимальний посівний шар не просто. Адже розподіл вологості в оброблюваному шарі не сприяє кришенню по всій глибині, тому що за обробітку у верхній шар залучається перезволожений шар з глибини 5-10 см. Якщо ж очікувати, поки цей шар досягне спілого стану, поверхневий шар пересохне й буде кришитися гірше.

Ускладнює процес кришення неминучі численні обробітки, які призначені для знищення бур'янистих рослин. Після них, як правило, передпосівна культивуація супроводжується більш високим, чим потрібно, виходом брил, що погіршує якість наступної сівби й умови розвитку надземної й підземної частин рослин на початкових фазах.

Не можна не звернути увагу також і на те, що навесні звичайно погода дуже мінлива й ці зміни, насамперед, позначаються на поверхневому (денному) шарі ґрунту. Якщо погода навесні супроводжується швидким наростанням тепла, посівний шар швидко досягає спілого стану й це відразу ускладнює своєчасний обробіток більших площ.

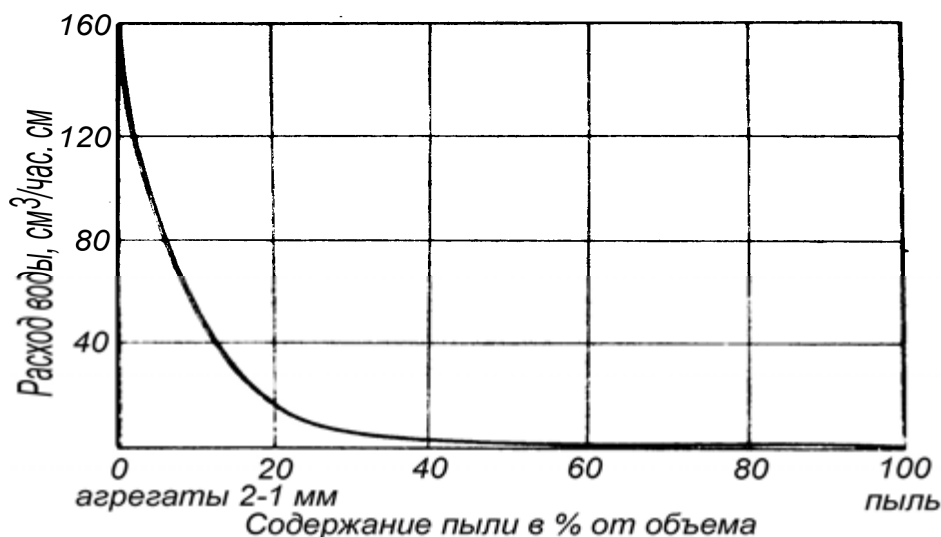
Отже, навесні ґрунтові умови в цілому сприяють якісному кришенню, у той же час організаційні умови через необхідність одночасного виконання більших обсягів робіт з обробітку ґрунтів цьому перешкоджають. Вихід із цієї ситуації зовсім очевидний - потрібні комбіновані ґрунтообробні й посівні машини, що прискорюють проведення механізованих польових робіт, з одного боку, і дозволяють реалізувати значні передумови для одержання високоякісного посівного шару, з іншого.

### Пил

Середній вміст пилюватої фракції (структурні окремоті дрібніше 0,25 мм) в орних ґрунтах України становить близько 12% з коливаннями від 1 до 41%. Коефіцієнт варіації досить високий - 46%. Зіставляючи ці величини із критичними параметрами припустимого розпилення ґрунту за обробітку, установленими В.Р.Вільямсом (23-35%), можна дійти висновку про слабку небезпеку розпилення ґрунтів у країні. Цей висновок здавалося б підтверджується відомими дослідженнями І.Б.Ревута й ін. (1971), у яких використання активного фрезерного обробітку не супроводжувалося скільки-небудь істотним розпиленням ґрунтів. Такі саме дані були отримані й у наших роботах при обробітку ґрунтів знаряддям роторного типу в ґрунтовому каналі й у польових умовах (В.В.Медведєв і ін., 1981). Разом з тим, ми впевнені, що такий висновок був би помилковим, тому що не враховує так зване агротехнічне пилення ґрунтів (В.І.Діденко, 2006). Останнє викликається ґрунтообробними знаряддями та деформацією ґрунтів ходовими пристроями машинно-тракторних агрегатів і поширено практично на всій ріллі Лісостепу й Степу країни при виконанні будь-якої агротехнічної операції. Боронування, культивація, сівба, інші операції завжди супроводжуються хмарою пилу, що переміщається по полю й за його межі разом з вітровими потоками. Агротехнічне пилення сьогодні розглядається як один з видів дефляції ґрунтів, що представляє реальну небезпеку. У зв'язку із цим не можна не підкреслити знову непридатність

методу Н.І.Савінова, що, як відомо, не здатний урахувати деформаційну складову розпилення ґрунтів при обробітку.

Тут доречно нагадати, що в роботі Д.І.Бурова (1954) була обґрунтована пропозиція про необхідність зниження припустимої межі розпилення ґрунту при обробітку до 10%. У зв'язку із цим не можна не згадати знову про параметр припустимого розпилення ґрунтів, установленому В.Р.Вільямсом. Підкреслимо: В.Р.Вільямс мав на увазі максимально припустиму величину розпилення, після якої втрачаються всі переваги структурного ґрунту. Фактично несприятливі наслідки від розпилення ґрунту наступають набагато раніше й про це свідчать не тільки дані Д.І.Бурова. Так, на рис.1.4.2, узятому нами зі статті І.Б.Ревута й ін.(1953, посилання по книзі «Основи агрофізики», 1959), чітко видно, що фільтрація води через ґрунтовий зразок з макроагрегатів розміром 2-1 мм починає різко зменшуватися вже за незначного додавання пилу. Ця залежність має експонентний характер. Особливо катастрофічно позначається додавання пилу до 20% від обсягу зразка.



**Рис.1.4.2. Витрата води при фільтрації залежно від вмісту пилу в зразку дерново-підзолистого суглинкового ґрунту**

Продовжимо розгляд географічних особливостей поширення пилюватої фракції в орних ґрунтах України. Якщо взяти до уваги викладені обставини, найбільш адекватними реальним виявляться дані вмісту пилу в зразках із ґрунтів легкого гранулометричного складу, еродованих ґрунтів, а також ґрунтів, що мають знижений вміст гумусу, що не відрізняються, як відомо, значною механічною стійкістю. До таких ґрунтів (легко розпорошуються в процесі механічного обробітку) можна віднести легкосуглинкові чорноземи, темно-сірі й сірі опідзолені ґрунти в північному Лісостепу, ґрунти у «малого Лісостепу», Вінницький острів змитих сірих опідзолених ґрунтів, ґрунти надзаплавних терас, а також численні локальні ділянки в Лісостепу й Степу. Зрозуміло, це справедливо, якщо ґрунти будуть оброблятися в підсушеному стані. Частка пилу при обробітку таких ґрунтів може перевищити 20% і цю величину необхідно визнати досить вагомою. Більше того, варто очікувати подальшого можливого посилення розпилення при інтенсифікації обробітку і збільшенні числа проходів, застосуванні повторних операцій (наприклад, весняних культивуацій або міжрядних розпушувачів просапних культур), які проводяться, як правило, при підсушеному поверхневому шарі ґрунту.

Найбільша небезпека розпилення існує в степовій частині нашої країни практично на всіх орних ґрунтах. За нашими даними, середня величина вмісту пилу в цій зоні перебуває в межах 15-20%. Однак, вона може істотно зрости за умови обробітку ґрунту зі зниженим зволоженням і при проходах машинно-тракторних агрегатів з підвищеною вагою. На жаль, те й інше є звичайним у цій зоні.

Тут доречно згадати дослідження, проведені на початку 50-х років під керівництвом П.У. Бахтіна (1969), з вивчення кришення ґрунтів при основному обробітку плугами різних експериментальних (швидкісних) конструкцій. Розпилення ґрунтів у цих роботах було досить рідким фактом, якому не додали великого значення. Але все-таки розпилення мало місце при обробітку ґрунтів плугами, у яких висота відвала, кут між

лезом лемеша й стінкою борозни були більше, а кривизна перетину відвала менше в порівнянні зі стандартним (культурним відвалом) плугом. Такий експериментальний плуг при максимальній швидкості обробітку - до 22 км/година різко збільшував вихід пилюватої фракції при обробітку чорноземів південних і темно-каштанових ґрунтів. Установлений факт показує, що ґрунти за певних умов здатні порівняно легко піддаватися розпиленню й цю обставину потрібно враховувати конструкторам ґрунтообробної техніки.

Варто також звернути увагу на Полісся, для якого, на жаль, інформація про структурний склад і особливо про вміст пилу при проведенні структурного аналізу обмежена. У той же час, наявні дані про посилення дефляції на меліоративно переосушених ґрунтах (С.Ю.Булигін і ін., 1998), звичайно ж, є наслідком розпилення ґрунтів і також у результаті інтенсивного розпушування й деформації ходовими системами машинно-тракторних агрегатів.

Якщо прийняти вміст пилу в оброблюваному шарі в межах 10% як такий, що може викликати погіршення структурного складу орного (посівного) шару, то відповідні площі орних ґрунтів у країні, становлять близько 38% (11,4 млн. га). Ґрунти зі змістом пилу від 15 до 20% займають 7% (2,1 млн. га). Нарешті, ґрунти зі вмістом пилу понад 20% - 8,8% (2,6 млн. га). Всі ці дані свідчать про досить помірну небезпеку розпилення орних ґрунтів при обробці. У той же час, тому що вони не враховують можливого розпилення ґрунтів за деформації ходовими пристроями МТА, то заслуговують найпильнішої уваги й розробки ефективних контрзаходів. Головне, як, втім, і при розгляді багатьох інших питань охорони ґрунтової структури від руйнування, є надзвичайно актуальним питання про мінімалізацію обробітку, при впровадженні якої може виявитися одночасно й успішно забезпеченою й захист ґрунту від розпилення.

### **Водостійка фракція**

Найбільш загальні закономірності географії водостійкої фракції

(агрегати розміром крупніше 0,25 мм) на ріллі України наступні:

- більш високі показники водостійкості мають типові й звичайні чорноземи, добре гумусовані й збагачені поглинутим кальцієм. До півночі й до півдня від цієї території водостійкість падає;

- середня величина водостійкості ґрунтової структури не досягає 50%, при коефіцієнті водостійкості менше 0,5 і відповідному розмаху коливань від 25 до 70% або від 0,2 до 0,8. Якщо врахувати, що коефіцієнт структурності в середньому близький до 64%, то реальну оцінку водостійкості (основної оцінки якості) не можна не визнати досить скромною. Як ми думаємо, ці параметри є зовсім очевидним наслідком деградації орних ґрунтів країни, зокрема, наслідком втрати органічної речовини. Нагадаємо, що водостійкість ґрунтової структури на ціліні досягає 70-80%;

- разом зі зростанням у ґрунті піщаних і пилуватих компонентів і зниженням вмісту гумусу водостійкість знижується. Перезволоження, що супроводжується оглеєнням, підкислення ґрунтового розчину, водно-ерозійні або дефляційні процеси сприяють зниженню водостійкості;

- переущільнення, як правило, формує помилково стійкі агрегати, що руйнуються у воді при попередньому і тривалому намочуванні зразка перед просіванням.

На жаль, незважаючи на достаток даних про водостійкість різних ґрунтів у базі даних, їх все-таки виявилось недостатньо для одержання більш чітких залежностей водостійкості від властивостей ґрунтів. Відзначені вище закономірності (скоріше тенденції) вимагають підтвердження в силу високої варіабельності показників водостійкості ґрунтів.

### **Синтезована оцінка**

Узагальнена оцінка структурного складу орних ґрунтів України, представлена як співвідношення брилистої, агрономічно цінної фракції й пилу, демонструється на рис. 1.4.3. На ньому всі ґрунти об'єднані в 4

класи: високо оструктурені, середньо оструктурені, брилисті й розпилені. Ясно видно, що переважають ґрунти, що віднесено до першого двох класам. Наведена оцінка відбиває рівень оструктуреності ґрунтів при деяких стандартних умовах. Нагадаємо, що просівання ґрунтових зразків відповідно до методики Н.І.Савінова здійснюється в повітряно-сухому стані. Як відомо, при такому зволоженні обробіток ґрунтів не здійснюється. Тому наведені дані, швидше за все, характеризують здатність орних ґрунтів розпадатися на структурні окремоті різних розмірів, але використовувати їх для технологічних оцінок ґрунту, наприклад, підготовленого до сівби, потрібно з великою обережністю. Адже ґрунтові й агротехнічні умови ґрунту, що піддається обробітку можуть істотно відрізнятись від стандартних.

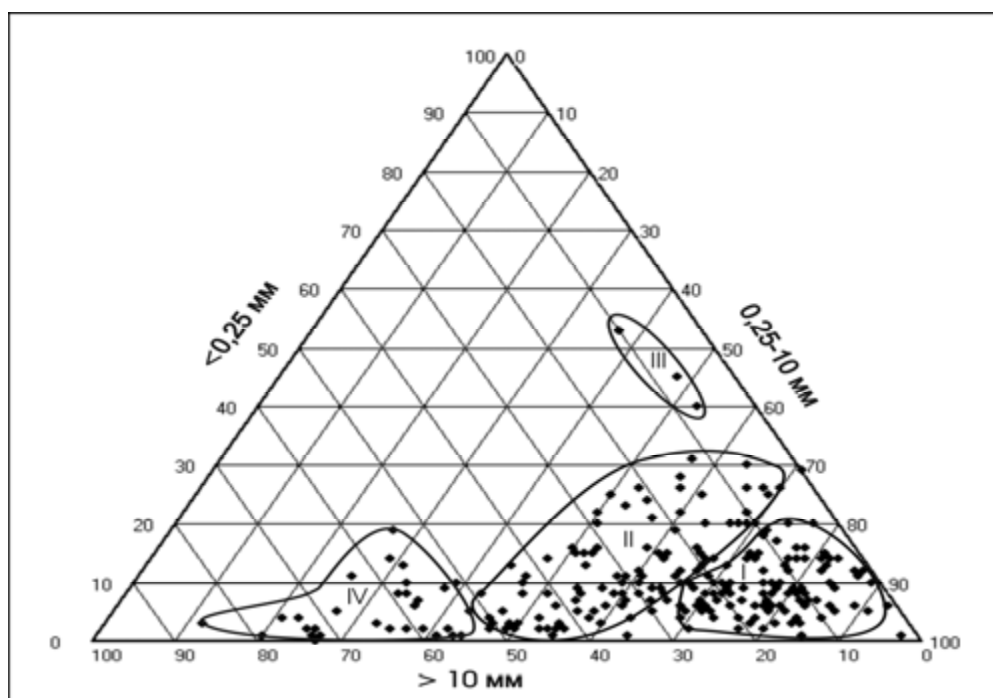
До класу 1 переважно віднесені чорноземи звичайні (48 об'єктів), чорноземи південні (13), чорноземи типові потужні (9), трохи рідше зустрічаються чорноземи опідзолені (7) і лучно-чорноземні ґрунти (6). Як правило, всі ґрунти цього класу мають середньо- і важкосуглинковий грансклад, добре гумусовані. Ще рідше зустрічаються в цьому класі темно-каштанові й лучні ґрунти, а як одиничні об'єкти - дернові й деякі інші ґрунти. Присутність настільки широкого ряду ґрунтів у цьому, також як і в інших класах, пояснюється тим, що аналізувалися лише орні шари ґрунтів, які навіть у генетично різних ґрунтів близькі за своїми властивостями, що робить вплив на процеси агрегації.

У класі 2 переважають чорноземи звичайні (33 об'єкта), рідше зустрічаються лучно-чорноземні (18), чорноземи південні (13), чорноземи типові (13), лучні (8) ґрунти. Як видно, перераховані ґрунти представляються сприятливими в агрономічному відношенні, але їхня здатність формувати структуру, видимо, трохи обмежена за рахунок різних причин (зниженої гумусованості, осолонцювання, опіщаненості).

У класі 3 і 4 домінують ґрунти з виразними ознаками осолонцювання, засолення, оглеєння, опіщаненості. Всього в базі даних

представлено 33 об'єкта з такими характеристиками.

Продемонстровані дані структурного складу більшості орних ґрунтів країни досить узгоджено свідчать на користь значних їхніх можливостей формувати за обробітку сприятливі стосовно вимог сільськогосподарських культур параметри. Разом з тим ця здатність у реальних умовах не завжди може бути реалізована через, головним чином, відхилення вологості ґрунтів від вологості оптимального крошення, а також унаслідок згаданих генетичних особливостей, що стримують процеси агрегації.



**Рис.1.4.3. Структурний склад орного шару ґрунтів України: I - високо оструктурені, II - середньо оструктурені, III, IV - погано оструктурені (розпилені і брилисті)**

Отже, використовуючи карти вмісту основних структурних фракцій в орних ґрунтах України, здобуті при рівноважній щільності будови й у стандартних умовах зволоження (В.В.Медведєв і ін., 2007), а також матеріали про водостійкість ґрунтової структури, дана географічна характеристика процесів агрегації в основних ґрунтово-кліматичних зонах.

Найбільше процеси агрегації виражені в лісостеповій і північній частині степової зон. До півночі й до півдня агрегація слабшає. При аналізі структурно-агрегатного складу ґрунтів вихід агрономічно цінної фракції розміром від 10 до 0,25 мм досить високий (у середньому близько 64%). Разом з тим досить значний вміст брил (23%) і в меншій мері пилюватої фракції (близько 12%) істотно знижує агрономічну цінність структури орних ґрунтів країни. Про це ж свідчать досить низькі оцінки водостійкості - менш 50%, що з очевидністю доводить наявність в усіх без винятку орних ґрунтах країни явних процесів фізичної деградації.

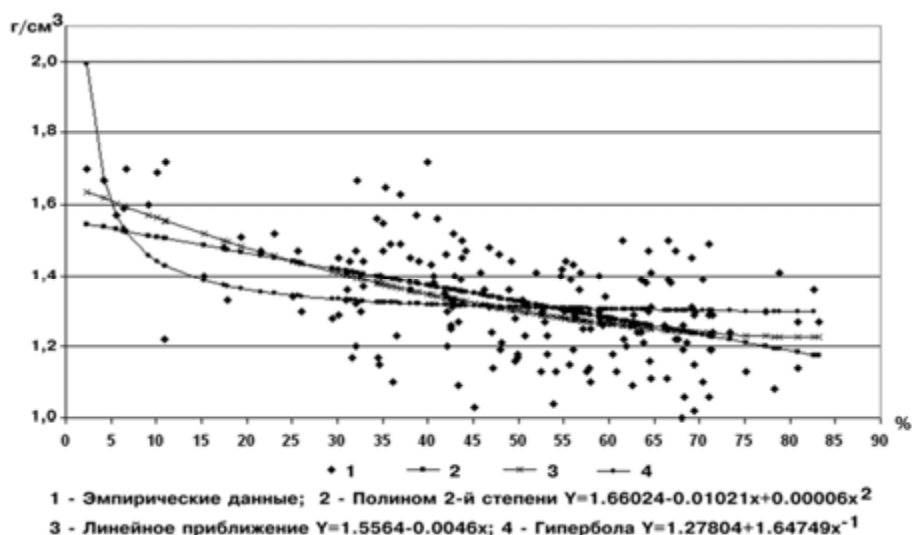
За ступенем прояву ґрунтової структури орні ґрунти розділені на 4 класи. Генетичні обумовлені розходження у властивостях ґрунтів і, насамперед, вміст гумусу, явища осолонцювання, засолення, оглеєння й інші стримують процеси агрегації, що підсилює формування за обробітку брил і пилю.

## **1.5. Фізичні і фізико-механічні властивості**

### **1.5.1. Щільність будови і глибина кореневмісного шару**

Рівноважна щільність будови кореневмісного шару – ключовий, інтегральний показник для оцінювання фізичних властивостей ґрунтів. На жаль, щільність будови й у цілому фізичні властивості не популярні в ґрунтових роботах. І навіть сьогодні, коли таких даних стає усе більше, отримано карти рівноважної щільності практично для всіх ґрунтів, що розорюються, положення не міняється. Спробу охарактеризувати щільність будови за вмістом фізичної глини, запропоновану в чинній в Україні методиці бонітування потрібно визнати як невдалу. Про це, зокрема, свідчить установлений нами зв'язок між умістом фізичної глини й щільністю будови. Це досить складний зв'язок гіперболічного типу, що показує наявність сильної залежності в інтервалі вмісту фізичної глини до 10-15%, середньої – 15-30% і відсутність будь-якого зв'язку між цими показниками за вмісту фізичної глини більше 30%. В останньому випадку значення щільності практично не міняється, а відповідна крива паралельна

осі ординат (рис. 1.5.1.1). Із цього випливає, що використовувати фізичну глину для оцінки фізичних властивостей ґрунтів і розрахунку бонітету на переважній території країни, де її вміст у ґрунтах вище 15%, ризиковано.



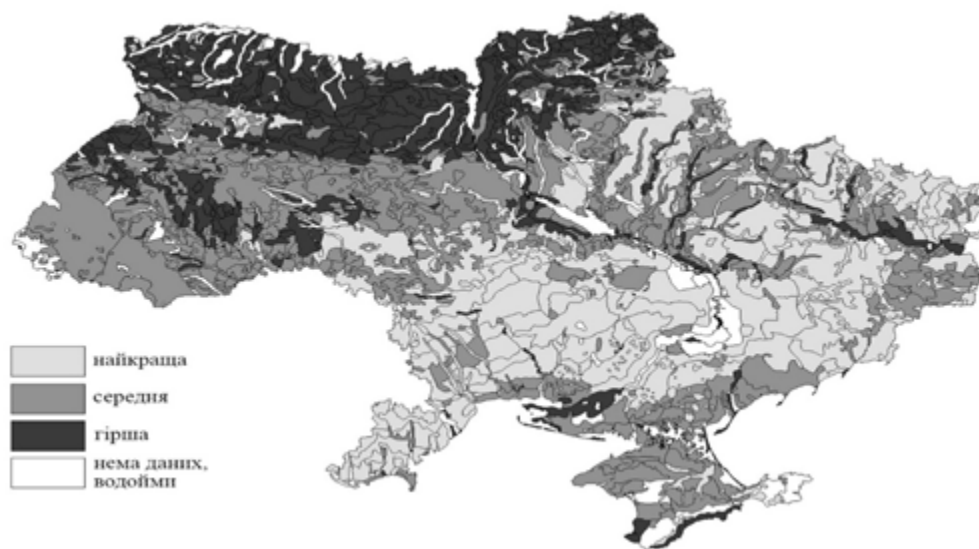
**Рис. 1.5.1.1. Залежність щільності будови ґрунтів (г/см<sup>3</sup>) від умісту фізичної глини (%)**

А це, як відомо, Лісостеп і Степ, де зосереджено понад 20 млн га ріллі.

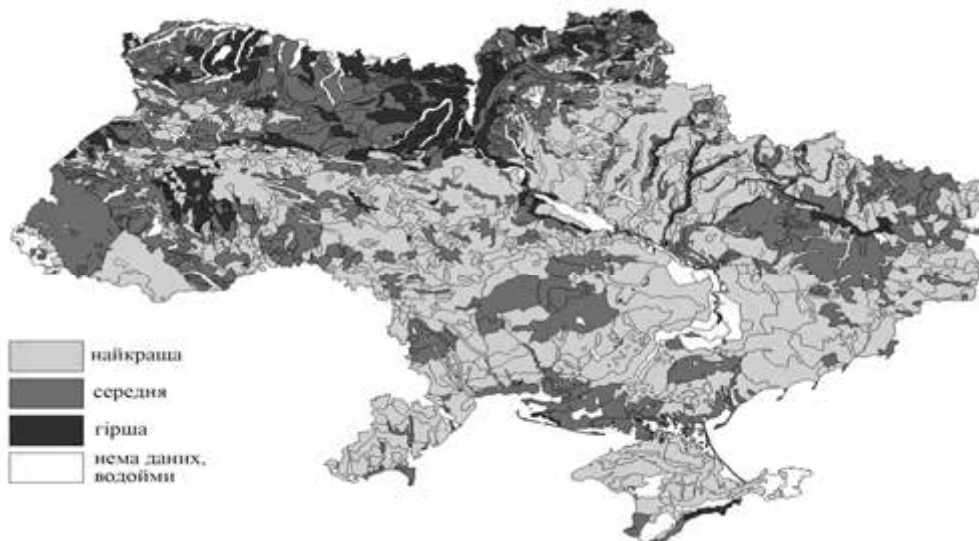
Класи ґрунтів стосовно рівноважної щільності будови для оцінювання інвестиційної привабливості наведено в табл. 1. Вони обрані на основі численних експериментальних досліджень, проведених нами й іншими дослідниками.

Найбільш сприятлива щільність будови для формування найкращих умов відзначається на великих просторах Степу й Лісостепу України (рис. 1.5.1.2 і 1.5.1.3). Лише дуже короткий час (не більше 1,0-1,5 місяців) безпосередньо після проведення передпосівного обробітку й сівби щільність будови в самому верхньому шарі може бути менше 1,1 г/см<sup>3</sup>, що несприятливо для водно-повітряного режиму ґрунтів. Інший період вегетації культур проходить тут в оптимальних умовах, якщо, зрозуміло, під час вегетації культур і збирання врожаю не зловживають проходами важкої техніки.

До півдня й південного сходу й, особливо, на північ і північний захід від цієї зони рівноважна щільність у силу різних причин збільшується. У Поліссі, де домінують кислі дерново-підзолисті ґрунти піщаного й супіщаного гранскладу з рівноважною щільністю будови  $1,65 \text{ г/см}^3$  і вище, асортименти вирощуваних культур різко звужується.



**Рис. 1.5.1.2. Оцінка придатності ґрунту за рівноважною щільністю будови в шарі 0-50 см для вирощування вимогливих (просапних) до ґрунтових умов культур**



**Рис. 1.5.1.3. Оцінка придатності ґрунту за рівноважною щільністю будови в шарі 0-50 см для вирощування маловимогливих (зернових) до ґрунтових умов культур**

Однак, на досить окультурених варіантах таких ґрунтів можливе одержання гарних урожаїв льону, картоплі, трав і рентабельне сільськогосподарське виробництво. Проте, у порівняних умовах (тобто, стосовно найпоширенішої озимої пшениці, ячменю, кукурудзи й інших культур) можливості для окупності інвестиційних вкладень тут гірші, ніж у Лісостепу.

За рівноважною щільністю кореневмісного шару більшість орних ґрунтів країни мають найкращі і середні характеристики, але поряд з цим чимало площ несприятливі для вирощування особливо вимогливих польових культур – біля 21% (табл.1.5.1.1 і 1.5.1.2).

Таблиця 1.5.1.1.

**Площі ріллі відповідно до класів придатності для вирощування вимогливих культур за критерієм рівноважна щільність будови кореневмісного шару ґрунту**

Клас придатності земельної ділянки	Площа ріллі	
	%	млн. га
Найкращий	35,1	10,5
Середній	37,7	11,3
Гірший	21,0	6,3
Нема даних	6,2	1,9

Таблиця 1.5.1.2.

**Площі ріллі відповідно до класів придатності для вирощування маловимогливих культур за критерієм рівноважна щільність будови кореневмісного шару ґрунту**

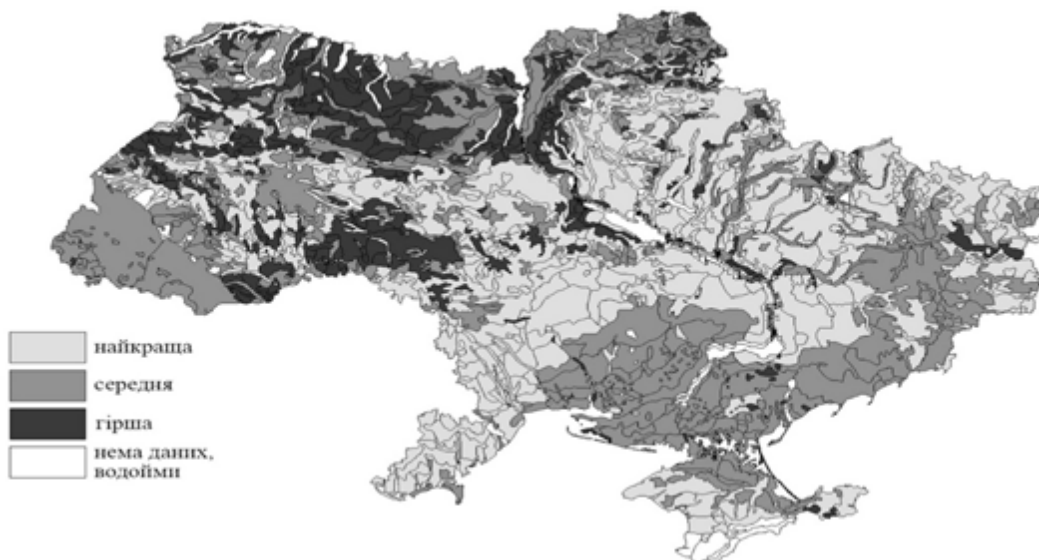
Клас придатності земельної ділянки	Площа ріллі	
	%	млн. га
Найкращий	52,7	15,8
Середній	33,3	10,0
Гірший	7,8	2,3
Нема даних	6,2	1,9

Глибина кореневмісного шару, географія потужності кореневмісного шару підкоряється природним умовам ґрунтоутворення. Параметри глибин варіюють у дуже широких межах – від 10-15 до 140-150 см. На картах (вони мають масштаб 1:2500000) неможливо відобразити всю строкатість глибин кореневмісного шару залежно від регіональних особливостей гранулометричного складу, рельєфу, гідроморфності, еродованості й інших чинників (рис. 1.5.1.4 і 1.5.1.5). Глибина кореневмісного шару мінімальна у Поліссі в дерново-підзолистих піщаних і глинисто-піщаних ґрунтах – приблизно 20 см. Оглеєння й обважчення гранскладу тут злегка збільшує цю величину. У цілому ж у цій зоні невелика глибина кореневмісного шару – істотний обмежувальний чинник, що об'єктивно знижує інвестиційну привабливість ріллі для вирощування багатьох культур.

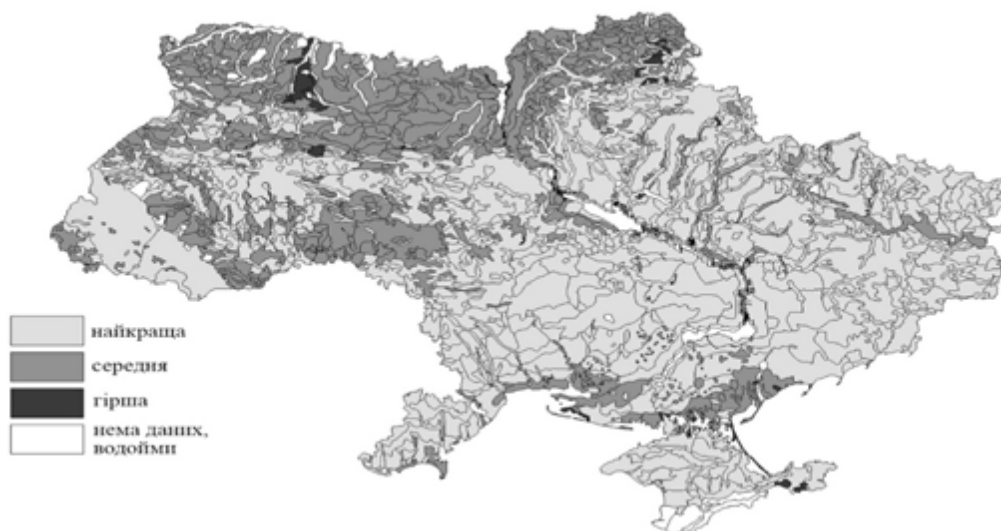
У лісостеповій зоні, де змінюються ґрунтоутворні породи і грансклад глибина кореневмісного шару зростає. Тут зустрічаються й надпотужні ґрунти, глибина кореневмісного шару яких перевищує 120 см. Це нееродовані ґрунти Придніпровської низовини середньо-суглинкового гранскладу. Як побачимо далі, саме тут зосереджено майже ідеальні ґрунти з найбільш сприятливими можливостями для інвестування, за винятком, мабуть, лише ймовірного недостатнього зволоження під час формування генеративних органів.

На південь й південний схід у зв'язку з аридизацією кліматичних умов, обважченням гранскладу порід і ґрунтів і іншими причинами глибина кореневмісного шару коротшає.

З таблиць 1.5.1.2. і 1.5.1.3 ясно видно, що в Україні домінують ґрунти з найкращими параметрами за глибиною кореневмісного шару.



**Рис. 1.5.1.4. Оцінка придатності ґрунту за глибиною кореневмісного шару для вирощування вимогливих до ґрунтових умов культур**



**Рис. 1.5.1.5. Оцінка придатності ґрунту за глибиною кореневмісного шару для вирощування маловимогливих до ґрунтових умов культур**

Таблиця 1.5.1.2.

**Площі ріллі відповідно до класів придатності для вирощування  
вимогливих культур за критерієм  
глибини кореневмісного шару ґрунту**

Клас придатності земельної ділянки	Площа ріллі	
	%	млн. га
Найкращий	43,4	13,0
Середній	37,2	11,2
Гірший	15,1	4,5
Нема даних	4,3	1,3

Таблиця 1.5.1.3.

**Площі ріллі відповідно до класів придатності для вирощування  
маловимогливих культур за критерієм  
глибини кореневмісного шару ґрунту**

Клас придатності земельної ділянки	Площа ріллі	
	%	млн. га
Найкращий	68,6	20,6
Середній	26,4	7,9
Гірший	0,8	0,2
Нема даних	4,2	1,3

Отже, за глибиною і рівноважною щільністю кореневмісного шару – узагальненими морфологічними і фізичними характеристиками – орні ґрунти країни цілком сприятливі для вирощування більшості польових культур, за винятком ґрунтів Полісся і Південного Сухого Степу.

### 1.5.2. Фізична спілість

Фізична спілість - найважливіший технологічний показник, що визначає готовність ґрунту до обробітку. Підкреслимо: цей показник необхідний, у першу чергу, агрономові, що повинен твердо знати - ґрунт варто обробляти лише в стані фізичної спілості. Обробіток при зволоженні за межами фізичної спілості шкідливий для ґрунту, не дає якісного

розпушування й енергетично не вигідний. Інженер-конструктор у меншій мірі цікавиться фізичною спілістю, хоча йому також корисно знати, що існують ґрунтово-кліматичні умови (приміром, в Україні це мільйони гектарів), де тривалість періоду фізичної спілості надзвичайно мала і агроном повинен мати у своєму розпорядженні такі технічні засоби, щоб встигнути укластися з обробітком в стислий термін.

Агрономічне значення фізичної спілості загальновідомо й не вимагає розширених коментарів. Для уточнення технологічного змісту поняття фізичної спілості ґрунту необхідно знати конкретну величину вологості, при якій настає спілість, час, протягом якого в ґрунті підтримується цей стан, і, нарешті, спосіб її знаходження. Останнє питання ми не станемо розглядати, тому що кожний агроном, що працює в господарстві хоча б кілька років, знає особливості полів, час і швидкість настання на них фізичної спілості залежно від погоди, без зусиль може визначити шуканий показник і вибрати оптимальну послідовність обробітку полів. Більш точно фізичну спілість можна встановити, виходячи з фізичної сутності цього явища. Для цього використовуються кілька способів:

- по величині вологості (точніше її діапазону). Звичайно фізична спілість змінюється від 0,6 до 0,9 (у середньому коефіцієнт близький до 0,7) найменшої вологості залежно від гранулометричного складу. Підкреслимо: фізична спілість - це не константа, вона проявляється в певному діапазоні значень вологості. А.Ф.Пронін експериментально встановив, що, наприклад, при обробітку чорнозему середньосуглинкового гранскладу оптимальне його кришення забезпечується в діапазоні абсолютної вологості 13-25 %;
- по нижній межі пластичності. Спілість відповідає м'якопластичній межі Аттерберга з деякими відхиленнями знов-таки залежно від кількості в ґрунті тонкодисперсних часток;
- по мінімальному зрушенню. Відомо, що в цьому стані зрушення

становить усього лише біля 1 кгс/см<sup>2</sup>, у той час як при відхиленні від нього опір зрушенню може досягати 100 кгс/см<sup>2</sup>. Отже, досить порівняно невеликого зусилля, щоб дезінтегрувати ґрунт у стані фізичної спілості.

Всі ці характеристики сприяють енергетично найбільш вигідному і якісному (найкращому для даного ґрунту) кришенню при її механічному розпушуванні. Зволоження ґрунту в цьому стані приблизно дорівнює вологості розриву капілярних зв'язків, коли в ґрунті залишається лише зв'язана й меніскова волога, а за рахунок майже максимальної величини вільної міжагрегатної пористості забезпечується мінімальне зчеплення між агрегатами.

При розпушуванні ґрунту в стані фізичної спілості спостерігаються переважно ощадливі розклинювальні деформації, фактично не відбувається надлишкового здавлювання, різання, скручування ґрунту й взагалі грубого впливу деформаторів на ґрунт (звичайно, за умови, що не застосовуються важкі ходові системи й активні робочі органи, що рихлять). Внаслідок цього не утворюються брили й пил. Більше того, видимо, через те, що в цьому стані в ґрунті перебуває деяка кількість слабозв'язаної вологи, ґрунт залишається реологічно активним тілом і здатний при розпушуванні навіть формувати агрегати. Установлено, що протилежний процес агрегування відбувається приблизно при тій же стані зволоження, названому вологістю оптимального структуроутворення.

Однак, важливо підкреслити, що агрономічно корисні агрегати (пористі, водо- і механічно міцні) при змішуванні в лабораторних умовах сухого ґрунту й води в певній пропорції утворюються тільки тоді, коли вихідний ґрунт мав такі агрегати. Тому очікувати, що тільки механічний обробіток (який би прогресивний він не був) без участі інших факторів агрегування (щонайменше, органічної речовини й полівалентних катіонів) у стані утворити агрономічно корисну структуру не доводиться.

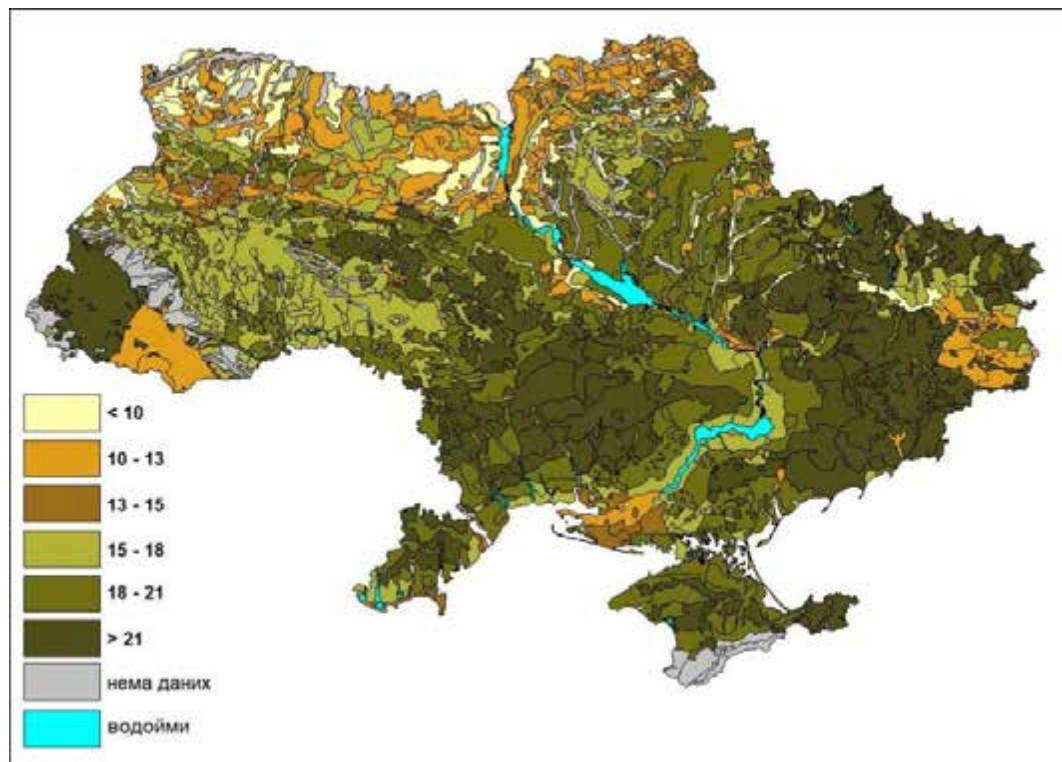
У контексті даного посібника необхідно звернути увагу на те, що

однією із причин виникнення несприятливих наслідків обробітку є його проведення за межами діапазону фізичної спілості. При обробітку перезволоженого ґрунту досить імовірна залишкова пластична деформація й переущільнення, пересушеного ґрунту - утворення брил і пилу. У тім і іншому випадку - зайві витрати. Обробіток ґрунту за межами фізичної спілості приводить до фізичної деградації ґрунту, причому нерідко він приймає риси необоротної, коли відновлення характерних параметрів ґрунту утруднене або взагалі неможливо. Наприклад, утворені при обробітку пересушеного й переущільненого ґрунту брили не зникають навіть після декількох циклів проморожування-відтавання.

Широко розповсюдженою помилкою є невідповідність вибору глибини обробітку й стану фізичної спілості по глибині оброблюваного шару. Боронування повинне здійснюватися на мінімальну глибину, тому що, як правило, ґрунт дозріває навесні тільки у верхньому шарі. Технологічно було б вірніше кожний наступний обробіток проводити на більшу глибину або обмежитися тільки одним мілким обробітком. Ще частіше агроном змушений обробляти ґрунт (особливо восени) у пересушеному стані й це, звичайно, супроводжується утворенням брил і неякісним посівним шаром для сівби озимої пшениці. Тут також треба або втриматися від обробітку взагалі, або провести луцення тільки самого верхнього шару.

Одержати уявлення про параметри фізичної спілості орних ґрунтів України можна з рис. 1.5.2.1.

Діапазон показників фізичної спілості досить широкий - від 10 до 21%. Це в середньому, фактично він ширше. Закономірності зміни спілості підкоряються, головним чином, вмісту в ґрунтах фізичної глини й гумусу. У Поліссі явно домінують показники фізичної спілості менше 13, у Лісостепу - 13-18, Степу - вище 18%.



**Рис. 1.5.2.1. Фізична спілість орних ґрунтів**

Якщо в Поліссі помітне збільшення фізичної спілісті при переході від піщаних до супіщаних ґрунтів, то в Лісостепу - при переході від мало до середньогумусних (що, мабуть, пов'язане з поліпшенням їхньої будови у верхньому шарі). У Південному Сухому Степу звертає на себе увагу відсутність зростання фізичної спілісті в зоні локалізації солонцюватих ґрунтів, що варто було б очікувати.

Розподіл площ ріллі з різною вологістю фізичної спілісті наведено в табл. 1.5.2.1.

Табл. 1.5.2.1.

Розподіл площ ґрунтів ріллі з різною вологістю фізичної спілісті

Вологість фізичної спілісті, %	Площа ріллі	
	%	млн.га
< 10	4,3	1,3
10-13	12,4	3,7
13-15	3,1	0,9
15-18	19,4	5,8
18-21	28,3	8,5
> 21	27,3	8,2
немає даних	5,2	1,6

### 1.5.3. Питомий опір

Фізико-механічні властивості ґрунтів умовно можна розділити на міцностні (визначають конструктивні особливості машинно-тракторних агрегатів і робочих органів ґрунтообробних знарядь) і технологічні (визначають особливості їхньої експлуатації). До перших з них віднесено всі види опорів - зрушенню, розклиненню, стиску й інші, а також зчеплення й тертя. За допомогою перерахованих показників установлюються можливості орних ґрунтів протистояти деформації (у тому числі переуцільненню), піддаватися кришенню, робити абразивний вплив. Відповідно до цих параметрів ґрунтів визначається маса машин, спосіб і інтенсивність впливу на ґрунт (зокрема, кути атаки клина й число його робочих поверхонь). Залежно від міцностних параметрів ґрунтів і з урахуванням організаційних і економічних вимог вибирають мобільний засіб з достатньою силою тяги на гаку й вибирають машинно-тракторний агрегат. Опираючись на ці ж параметри, розраховують можливі витрати пально-мастильних матеріалів, норми виробітку й розміри оплати праці механізатора.

До других віднесено фізичну спілість, пластичність, липкість і деякі інші. Якщо механічні операції здійснюються з урахуванням перерахованих параметрів, якість розпушування виявляється найкращою у даних умовах, а витрати ресурсів мінімальні.

Звичайно, це лише загальна схема використання міцностних і технологічних властивостей ґрунтів у конструюванні ґрунтообробних машин і агротехнологіях. У дійсності скористатися знанням перерахованих даних дуже складно через гостру їхню залежність від вологості ґрунтів. Тому, крім знання модальних (найбільш імовірних під час обробітку) параметрів, необхідно мати уявлення про розмах їхніх можливих коливань. Причому не тільки залежно від змін вологості, але й у географічному відношенні, на всій ріллі країни. Ясно, що це завдання дуже важке як в організаційному, так у фінансовому плані, тому фізико-механічні й

технологічні властивості ніколи не були об'єктом масових досліджень. До того ж практично немає й технічних засобів їхніх вимірів. Тому на даному етапі немає можливості дати в такій же мірі детальне картографічне відбиття міцностних (за винятком питомого опору) і технологічних (за винятком фізичної спілості) властивостей. Однак, навіть відносно встановлених показників треба ще раз підкреслити, що питомий опір, обмірюваний у стандартних умовах, слабо відбиває реальну картину, а фізична спілість – взагалі фактично розрахунковий показник.

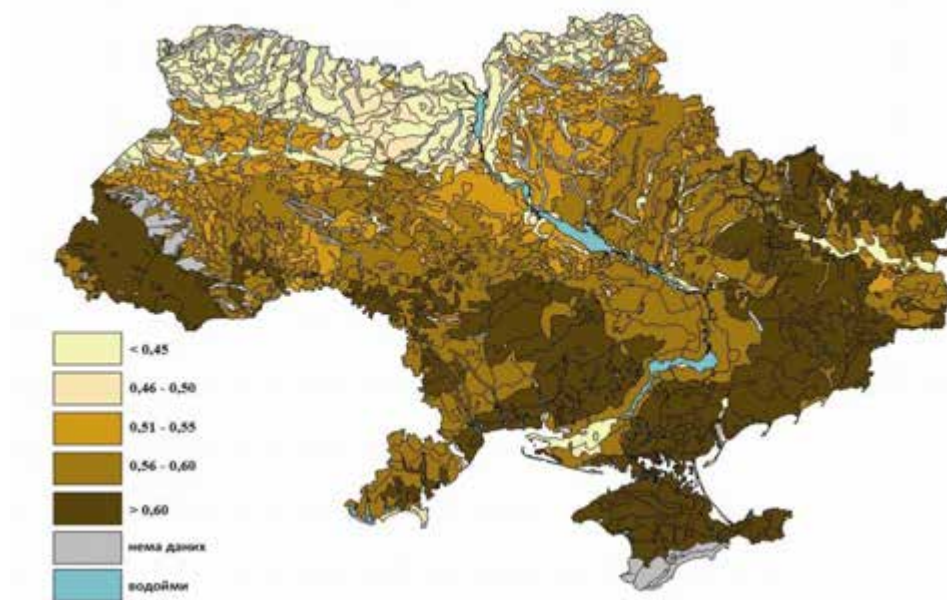
Питомий опір є розповсюдженим і широко використовуваним показником. Уже на початку 20 століття на Ротамстедській дослідній станції були проведені виміри цього показника й навіть складені перші карти ізодин - величин роботи, витраченої на обробіток ґрунтів. Дещо пізніше в Росії також були проведені подібні дослідження (Линтварьов) і навіть розроблена класифікація ґрунтів стосовно їхнього механічного обробітку (Криль). О.М.Грінченко й ін.(1938), посилаючись на ці дослідження, а також роботи О.Н. Соколовського й А.Д.Афанасьєва, повідомляють чимало цікавих відомостей про особливості цього показника й, насамперед, його динамічність залежно від властивостей ґрунтів, їхнього зволоження, типу використовуваних тракторів і ґрунтообробних знарядь. Саме в цій роботі чи не вперше звертається увага на необхідність стандартизації умов при вимірі питомого опору. Тільки такі виміри придатні для нормування витрат пального й механізованих робіт у землеробстві. Автори роботи провели подібні виміри в 25 точках, в 6 областях України й одержали велику й досить цінну інформацію.

Не менш примітні інші висновки цих авторів - про питомий опір як основу для районування типів ґрунтообробних знарядь, про виділення виробничих груп ґрунтів за фізико-механічними властивостями з метою поліпшення експлуатації техніки, про важливість ретельного обліку особливостей ґрунтового покриву й ін.

З огляду на важливість питомого опору ґрунтів, у наступні роки по

всій країні були створені нормувальні пункти, підготовлені відповідні кадри інженерів-нормувальників, розроблена методика виміру й виконані значні експериментальні дослідження.

Основна закономірність зміни питомого опору ґрунтів України полягає в поступовому збільшенні цього показника з північного заходу на південний схід (синхронно зростанню в складі ґрунтів фракції  $<0,01$  мм) – рис. 1.5.3.1.)



**Рис. 1.5.3.1. Питомий опір оброблюваного шару ґрунтів України при оранці, кг/см<sup>2</sup>**

На картосхемі різко виділяється зона Полісся. Питомий опір тут відповідає 4-му класам (за 10-бальною класифікацією). Більш важкі умови для обробітку ґрунтів (6-й класи) приурочені в основному до перехідної до Лісостепу території, де найпоширеніший у Поліссі піщаний, супіщаний і глинисто-піщаний гранулометричний склад поступово переміняється легкосуглинковим.

У лісостеповій зоні діапазон значень питомого опору ґрунтів становить 0,36-0,75 кг/см<sup>2</sup> (9-й класи). На знижених і вирівняних елементах рельєфу питомий опір менше, ніж на підвищеннях й особливо

схилових ділянках. У цій зоні також зовсім чітко простежується зв'язок гранулометричного складу й питомого опору ґрунтів. Ґрунти низьких терас рік віднесено до 4-го класу (0,36-0,50 кг/см<sup>2</sup>), великих вирівняних просторів (чорноземи типові потужні малогумусні легко- і середньо суглинкові) – до 8-го класу (0,36-0,70 кг/см<sup>2</sup>).

У степовій зоні питомий опір ще більше (хоча й поступово) збільшується, що зв'язано не тільки з перевагою тут важкого гранулометричного складу, але й із солонцюватістю - у Донбасі й південно-західній частині зони.

Отримані карти (з урахуванням виправлень на ступінь розораності) розподілу оброблюваних ґрунтів України за питомим опором при оранці можуть бути використані планувальними органами для раціонального розподілу в країні сільськогосподарської техніки, запасних частин і пально-мастильних матеріалів.

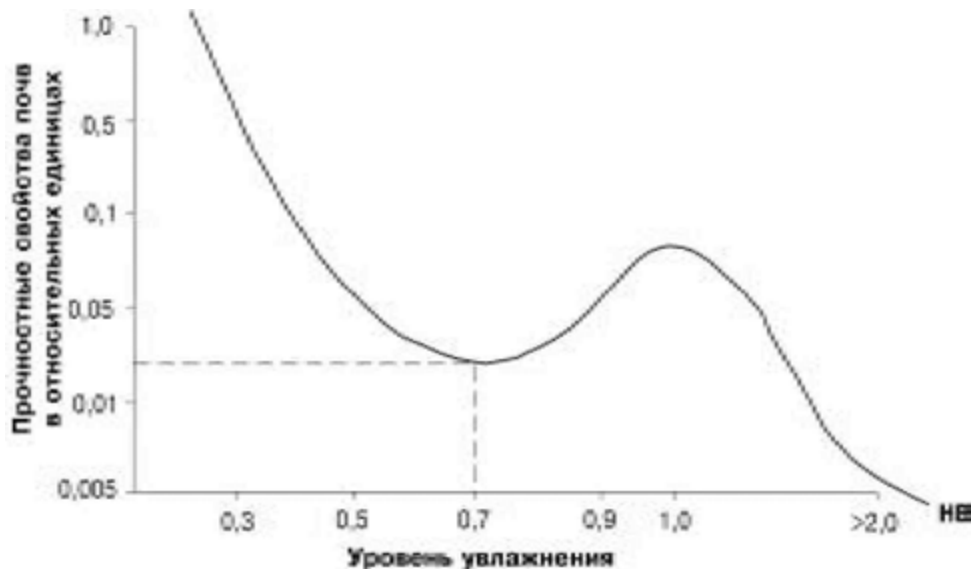
Наведений вище аналіз розкриває лише загальні закономірності зміни питомого опору. Це своєрідний аналіз на макрорівні. Він, імовірно, придатний у тих випадках, якщо ми хочемо оцінити зональні особливості опору ґрунтів обробітку, застосувати усереднені дані в економічних розрахунках, оцінити потребу в пальному для зони, області, району. Однак, використовувати ці узагальнені дані в нормуванні механізованих робіт у конкретному підприємстві ризиковано, тому що усереднена оцінка залишає без уваги багато питань. Наприклад, вплив стану оструктуреності оброблюваного шару, осолонцювання, перезволоження й інших «місцевих» особливостей. Наприклад, у згаданій роботі О.М.Грінченко й ін., солонцюватість типового легкосуглинкового чорнозему збільшує його питомий опір в 2 рази - з 0,35 до 0,70 кгс/см<sup>2</sup>. Так само різко міняється питомий опір за наявності інших неврахованих в усередненій оцінці особливостей оброблюваного шару (еродованості, оглеєння, кам'янистості), а також, якщо оранка проводиться при вологості, що відрізняється від вологості оптимального кришення. Всі ці перераховані (і

багато інших не перерахованих) фактів приводять до значної перевитрати пального.

Із цієї причини об'єктивність в оцінці труднощів механізованого обробітку може бути досягнута лише тоді, коли питомий опір стане обов'язковим параметром паспортизації полів, або коли на всі інші непередбачені випадки будуть розроблені обґрунтовані поправні коефіцієнти. Все це рівною мірою відноситься й до використання питомого опору для цілей конструювання робочих органів, хоча критерії отут повинні бути дещо іншими. Вони повинні врахувати ймовірність прояву несприятливого впливу на ґрунтово-технологічні умови. Про важливість обліку цієї обставини свідчить наступний відомий факт. Наприкінці 80-х років минулого сторіччя були закуплені й завезені в Україну сівалки для прямої сівби, що показали себе з найкращої сторони в США, Канаді, Бразилії й Західній Європі. Тільки в Харківську область було завезено понад 200 сівалок. Однак, за досить короткий строк вони вийшли з ладу й сьогодні їх у виробництві немає й немає інтересу до цієї досить прогресивної технології. Причина проста - в Україні більш важкі за гранскладом ґрунти, а сівба, як правило, здійснюється при більш низькій вологості, чим у згаданих вище країнах. Таким чином, ігнорування реальних величин питомого опору приводить до несприятливих наслідків.

Становить певний інтерес одержати узагальнену залежність зміни міцностних показників від стану зволоження ґрунту. Судячи із численних літературних даних така залежність повинна бути досить однотипною. При низькій вологості міцностні показники звичайно максимальні, потім знижуються, досягаючи мінімальних значень при вологості фізичної спілості, у міру подальшого збільшення зволоження вони знову зростають, поки ґрунт не зволожиться до найменшої вологоємності. Після цього, коли консистенція ґрунту стане текучою й рідко-текучою, міцність ґрунту взагалі зникає. Ми спробували представити залежність міцностних показників від вологості в узагальненому виді, максимально з огляду на

реальні значення. Для поліпшення зіставлення міцності показники були представлені у відносних величинах – за одиницю була обрана максимально спостережувана величина опору зрушенню при максимальному навантаженні в  $2,0 \text{ кгс/см}^2$  і відповідному йому рівню зволоження. Зволоження оцінили в частках від найменшої вологоємності. Вийшла досить інформативна крива (рис. 1.5.3.2) з характерними тенденціями і якими максимальними й мінімальними значеннями.



**Рис.1.5.3.2. Узагальнена залежність міцностних параметрів ґрунтів від рівня зволоження ґрунтів (НВ)**

Не можна не звернути увагу на те, що міцність ґрунту при обробітку ґрунтів з вологістю 0,4 НВ і нижче (це цілком реальний рівень зволоження для степових умов, коли здійснюється основний обробіток) більш ніж в 30 разів вище, ніж при обробітку ґрунтів у стані фізичної спілості. Якщо до цього додати, що обробіток при зниженій вологості приводить до утворення абсолютно неприйняттого кришення, то варто зробити зовсім певний висновок - оранка пересушеного ґрунту повинна бути заборонена, аж до застосування самих строгих (навіть спеціальних законодавчих) заходів.

Як уже згадувалося, фізико-механічні, точніше міцностні властивості можуть використовуватися для вибору способу впливу робочого органа на

грунт. Теоретично найбільш вигідно впливати на грунт таким способом, що вимагає найменших енергетичних зусиль. Для обґрунтування цього потрібно зіставити зусилля, що вимагаються, наприклад, для обробітку ґрунту, здійснюваного за типом його розриву, зрушенню або стиску (роздавлювання). В.Г. Цибулько (1987) були виготовлені відповідні установки й проведені такі порівняльні дослідження. Спочатку готували моноліти стандартної форми, але які розрізнялися за ущільненням й зволоженням. Потім моноліти руйнували деформаторами різної форми або випробовували їх на розрив. Зусилля при руйнуванні й характер кришення контролювали. Виявилось, що грунт із найменшим зусиллям піддається деформації розриву. Це становить приблизно 8-15 % від потенціалу міцності, якщо під ним мати на увазі суму зусиль, що вимагаються для подолання опору розриву, зрушенню й стиску (роздавлюванню). Опір зрушенню відповідно становить 25-30 %. Нарешті, опір стиску – роздавлюванню (50-60 %), у ході якого грунт руйнувався під дією плоского або плоско-кулястого деформатора, визнано самим грубим і особливо небажаним способом впливу на грунт і не тільки в силу найбільшої його затратності, але й у силу того, що після такого впливу порушується здатність ґрунту відновлювати вихідні характеристики. Тобто, порушується оборотність ґрунту – його фундаментальна характеристика, що служить вирішальною умовою збереження модальних параметрів ґрунту в часі й при застосуванні антропогенного навантаження. До речі, установлений факт принципово різної дії на грунт різних способів її деформації послужив основою для вироблення припустимого рівня впливу на грунт ходових систем машинно-тракторних агрегатів. За отриманим даними описаних експериментів цілком природно було допустити рівень впливу, дорівнює сумі опорів розриву й зрушенню (після впливів, рівних цим опорам, грунт відновлював свої модальні параметри після 5-6 циклів замерзання-відтавання, тобто, після приблизно звичайної кількості таких циклів протягом зимово-весняного періоду в чорноземній зоні) і в

жодному разі не допустити рівень впливу, рівний і тим більше такий, що перевищував величину опору стиску (роздавлюванню).

Опираючись на отримані дані, логічно запропонувати конструювати знаряддя для кришення ґрунту не на основі клина (це, як відомо, найпоширеніший тип робочого органа), а на іншому принципі, що передбачає розрив ґрунту по деякій площині. Виходячи з досліджень, площина розриву повинна проходити по міжагрегатній пористості, де внутріґрунтові сили зчеплення мінімальні.

Деякі з отриманих даних наведені в табл. 1.5.3.1.

Таблиця 1.5.3.1.

**Різні види опорів чорнозему типового важкосуглинкового залежно від вихідної щільності будови й вологості**

Щільність г/см <sup>3</sup>	Вологість ґрунту, % від маси	Опір ґрунту, кПа			Потенціал міцності, кПа	Рівень допустимого тиску, кПа
		розриву	зрушенню	стиску		
1,10		4,0	18,0	28,0	50,0	22,0
1,20	28-30	8,7	36,0	52,2	96,9	45,0
1,30		15,0	48,0	67,5	130,5	63,0
1,10		9,0	36,0	43,4	88,4	45,0
1,20	24-26	12,7	39,0	56,7	108,4	52,0
1,30		18,6	49,0	75,0	142,8	68,0
1,10		17,0	39,0	41,5	97,5	56,0
1,20	18-20	23,2	41,0	58,0	122,2	64,0
1,30		37,4	53,0	85,7	173,3	88,0

**1.5.4. Твердість і інші міцнісні властивості ґрунту**

Твердість - важливий генетичний і агровиробничий показник, за яким характеризують фізико-механічні властивості ґрунтів. Під час росту кореня, при пересуванні ґрунтообробного знаряддя в ґрунті відбуваються різноманітні процеси розклинювання й зсуву, долаються сили внутрішнього зчеплення агрегатів. Узагальненим адекватним індикатором цих процесів є твердість.

Твердість у ґрунтах змінюється в широких межах - від 0, коли ґрунт перебуває в текучому стані, до 1000 кПа, коли ґрунт практично

позбавлений вільної вологи й максимально консолідований. У силу значної залежності твердості від вологості об'єктивно складно зіставляти дані різних об'єктів між собою. Однак якщо врахувати, що обробіток більшості ґрунтів і особливо навесні проводиться в стані зволоження, рівного або близького до фізичної стиглості, то порівняння показників між собою стають цілком коректними.

Твердість - незамінний показник для оцінювання умов проростання насіння і їхнього розвитку на перших етапах онтогенезу, у тому числі оцінювання здатності кореневих волосків освоювати не тільки між-, але й внутрішньоагрегатний простір. За допомогою твердості легко встановити конфігурацію плужної підшви й вирішити питання про те, потрібно або не потрібно її руйнувати. Рівною мірою це ж можна віднести до ґрунтової кірки, твердість якої визначає вибір знаряддя для розпушування ґрунту й у цьому випадку.

Однак дотепер визначення твердості не одержало широкого поширення ні в агрономічній практиці, ні в конструюванні ґрунтообробних знарядь.

Отже, знайти характерні (рівноважні) параметри твердості основних орних ґрунтів України під час їх передпосівного й основного обробітків, запропонувати попередню класифікацію твердості ґрунтів і продемонструвати основні шляхи використання цих даних для вибору способів і знарядь обробітку є дуже актуальною задачею. Для її вирішення скористаємося даними, одержаними в ННЦ «ІА імені О.Н. Соколовського» під час проведення експедиційних робіт і польових дослідів з обробітком практично у всіх природних зонах країни. Твердість вимірювали методом Ревякіна, в 10-кратному повторюванні, із застосуванням плаского й клиноподібного плунжерів.

Розглянемо дані твердості посівного (0-10 см) і орного (0-30 см) шарів за вологості фізичної стиглості, які можна вважати діагностичними перед проведенням обробітку (табл. 1.5.4.1). Добре відомо, що фізична

спілість означає таке співвідношення між твердою й рідкою фазами ґрунту, за якого ґрунт легше всього піддається кришенню, й цей процес супроводжується найбільшим виходом агрономічно корисних агрегатів. Залежно від умісту дрібнодисперсної фракції гранскладу, гумусованості й складу обмінних катіонів кожний ґрунт характеризується певним рівнем вологості оптимального кришення. При розпушуванні ґрунту в стані фізичної стиглості спостерігаються переважно ощадливі розклинювальні деформації, фактично не відбувається надлишкового здавлювання, різання, скручування ґрунту й взагалі грубого впливу робочих органів ґрунтообробних знарядь на ґрунт. Внаслідок цього не утворюються брили й пил.

Звичайно фізична спілість настає, коли вологість ґрунту перебуває в діапазоні від 0,6 до 0,9 найменшої вологоємності, або коли консистенція ґрунту близька до нижньої межі пластичності, або, нарешті, коли опір зсуву досягає мінімальних значень. Важливо підкреслити: залежність твердості від вологості, як установив ще П.У.Бахтін, має переважно лінійний характер, а показники, що визначають кришення (зсув, зчеплення й внутрішнє тертя) підкоряються гіперболічній формі зв'язку з мінімальним проявом зазначених властивостей у стані, що відповідає нижній межі Аттерберга. Отже, знайти просту модель, що зв'язує твердість із фізичною стиглістю принципово можливо, але важко внаслідок нелінійності й складності моделі. Ми спробували знайти ключові параметри твердості для стану вологості, що відповідає оптимальному кришенню, скориставшись картою фізичної стиглості ґрунтів (у додатку), базою залежностей між твердістю і вологістю, що маємо, а також даними П.У.Бахтіна.

Опираючись на встановлені параметри можна зробити наступний висновок: якщо твердість ґрунту перед проведенням обробітку близька до зазначеного в таблиці значення, обробляти ґрунт можна з мінімальними зусиллями, не прибігаючи до інтенсивних багатоопераційних технологій.

Таблиця 1.5.4.1.

**Твердість (кгс/см<sup>2</sup>) основних ґрунтів (середні дані для посівного й орного шарів) перед передпосівним й основним обробітками**

Ґрунт	Ґрансклад	Фізична спілість, %	Твердість перед передпосівним обробітком	Твердість перед основним обробітком
Дерново-підзолисті	глинисто-піщані	<5	2-3	4-6
	супіщані	5-10	3-5	6-10
	легкосуглинкові	10-13	5-8	11-13
Темно-сірі, сірі опідзолені	легкосуглинкові	13-15	9-11	14-16
	середньосуглинкові	15-18	12-15	16-19
Чорноземи опідзолені, Чорноземи типові	легкосуглинкові	13-15	10-12	20-22
	важкосуглинкові	18-21	13-16	22-25
Чорноземи звичайні, чорноземи південні	важкосуглинкові,	18-21	16-20	25-28
	легкоглинисті	22-24	20-23	30-32
Темно-каштанові, каштанові	Так само	22-24	23-25	35-40

Правда, необхідно підкреслити, що наведені в таблиці величини твердості перед передпосівним обробітком переважно трохи вище тих, що можуть подолати кореневі волоски й сходи рослин. Тому вимоги до твердості в цей період більш жорсткі. Показові величини твердості для цих випадків демонструються в табл. 1.5.4.2.

Таблиця 1.5.4.2.

**Твердість перед передпосівним обробітком, коли додаткове розпушування не потрібно**

Обробіток	Твердість, кгс/см <sup>2</sup>
Основний обробіток під сівбу озимої пшениці	<10
Основний обробіток під сівбу ярої культури	10-20
Весняне боронування під крупнонасінневу культуру	5-7
Весняне боронування під дрібнонасінневу культуру	3-5
Передпосівні культивачі	5-8

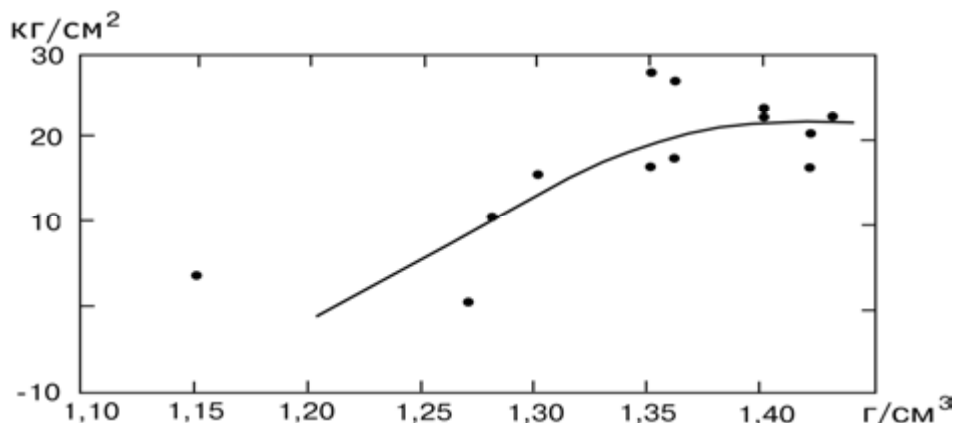
Якщо ж показники твердості після проведення відповідного обробітку перевищують наведені в таблиці величини, оброблюваний шар має потребу в додатковому розпушуванні.

З огляду на значні інформаційні можливості твердості для діагностування фізичного стану ґрунту, логічно припустити, що за допомогою показань твердоміра виявиться коректною рекомендація про диференціацію обробітку залежно від стану ґрунтів перед його проведенням. В агрономічній інтерпретації наведеної таблиці можуть допомогти дані рис. 1.5.4.1 про зв'язок твердості із щільністю будови. Щільність будови більше досліджена й тому з її допомогою можна розробити відповідні рекомендації, опираючись на дані твердості. Результати відбито в табл. 1.5.4.3. Джерелом для складання таблиці послужили дані стаціонарних дослідів з різними способами обробітку, у яких як супутні спостереження були дані твердості, щільності будови й урожаю. Виявилось можливим зібрати відповідну інформацію для чорнозему типового (середнього і важкого гранскладу) Лісостепу й дерново-підзолистого супіщаного ґрунту Полісся. При опрацюванні класифікації брали до уваги, що найкращі фізичні умови в ґрунті формуються за невеликих (не більше 10-15 кг/см<sup>2</sup>) параметрах твердості. Якщо виходити з рисунку, для відповідних показників щільності будови це відповідає не вище 1.30-1.35 г/см<sup>3</sup>. Далі зі зміцненням ґрунту фізичні властивості погіршуються й потрібно більш інтенсивне його розпушування для одержання сприятливого фізичного стану.

Зі зростанням твердості ґрунту число й глибина механічних передпосівних розпушувань повинні зростати. З огляду на те, що вологість ґрунтів восени перед проведенням основного обробітку звичайно на 10-20% нижче вологості фізичної спілості, рівноважні показники твердості виявилися приблизно на таку саму величину вище твердості навесні.

Таким чином, провівши відповідні виміри твердості в період, що передує проведенню обробітку (твердоміром з конічним плунжером) і

зіставивши отримані дані з табличними, можна вирішити питання, обробляти поле чи ні. Якщо обмірювані величини щільності виявляться менше табличних (для відповідних періодів обробітку) у проведенні обробітку немає ніякої необхідності. Звичайно, як і у випадку із щільністю будови, потрібно мати на увазі, що цей висновок характеризує потенційні можливості даного ґрунту не зміцнюватися вище припустимої величини.



**Рис.1.5.4.1. Залежність (апроксимована крива) між щільністю будови (г/см<sup>3</sup>) і твердістю (кг/см<sup>2</sup>) чорнозему типового важкосуглинкового**

Таблиця 1.5.4.3.

**Якісна оцінка ріллі за даними твердості ґрунтів**

Грансклад ґрунтів	Твердість, кгс/см <sup>2</sup>	Якісна оцінка фізичного стану ґрунту
Суглинковий	<10	пухка
	10-15	слабо зміцнена
	15-20	помірно зміцнена
	20-25	сильно зміцнена
	>25	надто сильно зміцнена
Супіщаний	10-15	пухка
	15-20	слабо зміцнена
	20-25	помірно зміцнена
	>30	міцна

Питання про глибину й спосіб основного обробітку також може бути вирішений за допомогою спостережень за твердістю ґрунту. При цьому принципово важливо прийняти (аналогічно тому, як це припускається при використанні даних щільності будови), що за оптимальних параметрів твердості основний обробіток мінімізується як відносно способу, так і глибини аж до повної відмови від його проведення взагалі. Останнє стає цілком виправданим, якщо за спостереженнями за кілька років при вирощуванні різних культур твердість ґрунту не піднімається до величини 20-25 кгс/см<sup>2</sup> протягом вегетації культури, у тому числі не вище 30 кгс/см<sup>2</sup> – у найбільш посушливий період року.

Твердість - надійний показник для рішення питання про проведення додаткового обробітку, спрямованого на знищення плужної підшви, поверхневої кірки, післяплужних розпушувань і т.і. Агроном сьогодні не має у своєму розпорядженні необхідного інструментарію для оптимального вирішення питання про необхідність або непотрібність перерахованих обробітків. Твердість у цьому плані може служити саме таким допоміжним інструментарієм.

Про плужну підшву. Незважаючи на прийняті профілактичні заходи ущільнений прошарок на переході між орним і підорним шарами присутній практично завжди, тому що при проході плугу в зоні контакту його леза й ґрунту формуються зона надзвичайно високого тиску. На жаль, ні про конфігурацію плужної підшви, ні про ступінь шкоди, що вона наносить родючості ґрунтів і врожаю, ясності немає. Опираючись на зібрані нами дані, можна стверджувати, що твердість у плужній підшві, якщо перевищує 35-40 кгс/см<sup>2</sup>, робить шкоду зростаючим корінням, обмежуючи їхній ріст у глибину профілю. Це значить, що за такої твердості зменшуються адаптивні можливості культур, особливо в умовах нестачі доступної ґрунтової вологи. Водночас це ж означає, що із плужною підшвою варто боротися й не тільки пасивними профілактичними заходами, але й за допомогою періодичного глибокого розпушування.

Узагальнення стаціонарних польових досвідів з поглибленням оранки до 30-32 см і навіть 34 см, проведених у різних зонах країни, показали неефективність такого поглиблення. Однак, у більшості дослідів не було контролю твердості й досліди вели, нагадуємо, в умовах досить високої культури землеробства, де плужної підшви могло й не бути. Тому ми думаємо, що при наявності зазначених нами критичних величин твердості періодичне поглиблення основної обробки може бути доцільним. У всякому разі, ця гіпотеза вимагає перевірки.

Певне уявлення про ступінь вираженості плужної підшви і її параметрів у деяких полях Полісся й Лісостепу дає табл. 1.5.4.4, отримана в результаті їхнього обстеження за допомогою твердоміра. Добре помітна висока строкатість прояву плужної підшви - від повної відсутності (внаслідок підвищеного зволоження через погано працюючу осушувальну систему в Маневичському районі) до помітної переваги в ґрунтовому покриві поля з параметрами, які, як ми думаємо, вимагають вживання заходів з її усунення. З показаних даних випливає дуже важливий практичний висновок - обстеження полів на твердість у плужній підшві необхідно, тим більше, що воно займає порівняно небагато часу. Так, обстеження одного поля за попередньо наміченої регулярної сітки елементарних ділянок разом з обробкою й побудовою карти потребує не більше одного робочого дня.

Ґрунтова кірка – надзвичайно актуальний об'єкт для дослідження за допомогою твердоміру. Виміри міцностних параметрів кірки практично відсутні, а знаряддя для знищення кірки вибирають «на око», не порівнюючи механічні впливи з її міцністю. Таке ставлення до кірки нічим не виправдано, особливо якщо врахувати її поширення й шкоду, що вона приносить, знижуючи врожай. За нашими даними, кірка тією чи іншою мірою проявляється на 38% ріллі країни, а зниження врожаю, може бути від 10 до 100%.

Таблиця 1.5.4.4.

**Твердість у плужній підшві, що перевищує 40 кгс/см<sup>2</sup>, у деяких полях Полісся й Лісостепу України**

Адреса	Ґрунт	Площа поля, га	Частина поля із твердістю у плужній підшві вище 40 кгс/см <sup>2</sup>	
			га	%
Волинська обл., Маневичський район	Комплекс дерново-підзолистих ґрунтів різного ступеня оглеєння	11	0	0
Волинська обл., Луцький район	Комплекс чорноземів опідзолених, темно-сірих і сірих опідзолених ґрунтів	63	0,1	0.5
Чернігівська обл., Чернігівський район	Дерново-середньопідзолистий	105	6,6	59,5
Харківська обл., Харківський район	Темно-сірий опідзолений	31	8,5	27,5
Так само	Чорнозем типовий	30	0,7	2,4

Т.Є. Личук виміряв міцність кірки твердоміром і одержав величину на контролі 5,85 мПа, на варіантах з ґрунтозахисним обробітком й внесенням гіпсу й одночасно з сівбою трав міцність кірки істотно знизилася. Кірки не було зовсім там, де посів пшениці був здійснений по люцерні, посіяної роком раніше й використаної в наступному році як мульчу з покриттям 50%.

Твердість ґрунту може використовуватися для обґрунтування конструктивних особливостей ґрунтообробних знарядь. Як відомо, у більшості знарядь як робочий орган, що розпушує, використовується клин, відмінними рисами якого є кут атаки й число робочих поверхонь. Чим більше кут і число поверхонь, тим вище його здатність кришити ґрунт. Природно припустити, що при конструюванні такого знаряддя потрібно опиратися на опір ґрунту розклинюванню, тому що в процесі роботи клина долається саме такий вид опору ґрунту. Причому важливо мати на увазі, що розклинювання ґрунту може відбуватися по міжагрегатній пористості (це кількісно найменший опір ґрунту, аналогічний опору розриву) і в

цьому випадку немає ніякого сенсу використовувати знаряддя з більшим кутом атаки й більшим числом робочих поверхонь.

Зовсім інша ситуація виникає, коли при обробітку ґрунтів потрібно подолати опір зсуву. Чисельно воно набагато більше, ніж попередній вид опору, тому що при цьому потрібно подолати сили зчеплення агрегату. Звичайно, у цьому випадку й кут атаки робочого органу й число його поверхонь потрібно збільшити, але це збільшення повинне бути порівняно з опором ґрунтів зсуву, а не перевищувати його в багато разів, як це має місце в сучасних типах робочих органів.

У таблиці 1.5.4.5. наведені дані основних видів опорів ґрунтів України.

Таблиця 1.5.4.5.

**Різні види опору чорнозему типового важкосуглинкового залежно від вихідної щільності будови й вологості**

Щільність будови, г/см <sup>3</sup>	Вологість ґрунтів, % від маси	Опір ґрунту, кПа			Потенціал міцності, кПа	Рівень припустимого впливу на ґрунт, кПа
		розриву	зсуву	здавленню		
1,10	28-30	4,0	18,0	28,0	50,0	22,0
1,20		8,7	36,0	57,2	96,9	45,0
1,30		15,0	48,0	67,5	130,5	63,0
1,10	24-26	9,0	36,0	43,4	88,4	45,0
1,20		12,7	39,0	56,7	108,4	52,0
1,30		18,6	49,0	75,0	142,8	68,0
1,10	18-20	17,0	39,0	41,5	97,5	56,0
1,20		23,2	41,0	58,0	122,2	64,0
1,30		37,4	53,0	85,7	173,3	88,0

Аналізуючи наведену таблицю можна одержати кілька важливих висновків, які треба мати на увазі при конструюванні й експлуатації ґрунтообробної техніки.

Мінімальний опір ґрунту - опір розриву. У цьому випадку витрати енергії на його подолання незначні, вони приблизно у 3-4 рази нижчі, ніж на подолання опору зсуву. Якби в процесі обробітку ґрунту розпушування супроводжувалося руйнуванням лише міжагрегатних (найменш

енергоємних) зв'язків і виходом достатньої кількості агрономічно корисних агрегатів, то кришення можна було б здійснити клиноподібним робочим органом з мінімальним кутом атаки й відповідно мінімальною витратою енергії. Потрібно підкреслити, що в чорноземі типовому середнього гранскладу, добре гумусованого і добре оструктуреного, кришення (за вологості фізичної стиглості) саме так і здійснюється. Тут не потрібні повторні й глибокі культивації, ґрунт легко кришиться, як говорив у свій час В.В.Докучаєв, лише від дотику до ґрунту. Необхідність додаткового обробітку виникає унаслідок двох причин - швидкого відростання бур'янів і неминучого підсушування ґрунту. Останнє викликає цементацію слабких зв'язків в агрегатах і виникнення великих міцних грудок, які необхідно видаляти з посівного шару через їхній негативний вплив на ріст і розвиток рослин.

За підвищення зчеплення ґрунту інтенсивність його розпушування повинна підсилюватися й відповідати (точніше перевищувати) опір зсуву, що досягається, як ми вже згадували, за рахунок збільшення куту атаки клина або за рахунок створення додаткових поверхонь на робочому органі.

Ідеальним знаряддям для оптимального кришення ґрунтів може бути знаряддя, у якому буде передбачене спочатку руйнування неміцних зв'язків по лінії міжагрегатних зв'язків за допомогою клину з мінімальним кутом атаки, а потім руйнування (за необхідності) більш міцних внутрішньоагрегатних зв'язків (але без руйнування агрегатів агрономічно корисного розміру), що досягається клином зі збільшеним кутом атаки або збільшенням числа робочих поверхонь.

Двоступінчастий характер обробітку, базований на подоланні спочатку опору розриву, а потім опору зсуву, здається, найбільш прийнятний для обробітку консолідованих від природи (наприклад, солонцюватих) або штучно ущільнених (у тому числі зрошуваних) ґрунтів. Таке сполучення робочих органів на основі удару й різання, здається, перспективним напрямком у конструюванні ґрунтообробних машин.

Отже, при конструюванні адаптивних робочих органів ґрунтообробних машин їхній вплив на ґрунт повинний порівнюватися з опором ґрунтів розриву (це приблизний аналог опору ґрунтів розклинюванню, отриманий за допомогою твердоміру із клиноподібним плунжером з невеликим кутом атаки) і опором ґрунтів зсуву (це приблизний аналог опору ґрунтів розклинюванню, отриманий за допомогою твердоміру із плунжером, що має великий кут атаки). Сума цих двох видів опорів повинна утворити величину припустимого впливу на ґрунт, що, як ми впевнені, запобіжить машинній деградації ґрунтів.

Відзначимо, до речі, що з урахуванням вище сказаного широке застосування твердоміру Ревякіна із плоским плунжером ніяк не обґрунтовано. Адже твердість, що визначається з його допомогою, не адекватна жодному з вище перерахованих опорів. Як ми вже відзначали, ця твердість відбиває, швидше за все, комплексний опір ґрунтів (здавлюванню) і зсуву (різанню) на периферії плунжера. Заздалегідь можна стверджувати, що робочі органи ґрунтообробних машин, побудовані з урахуванням комплексного опору, не будуть мати потрібного ґрунтоохоронного значення.

Окремого обговорення заслуговує опір ґрунтів здавленню. Це, як ми встановили, найбільш грубий вид впливу на ґрунт, після якого порушується здатність ґрунту відновлювати властиві їй параметри. Це відбувається внаслідок консолідації ґрунту, видавлювання вологи з тонких пор і в цілому абіотизації ґрунту. Непомірно здавлений ґрунт, позбавлений живих корінь і мікробіологічної активності, може перебувати в такому стані невизначено тривалий час, чого допускати ніяк не можна. Тому такий опір, що долається у процесі обробітку, повинний бути виключений.

На жаль, конструктори робочих органів ґрунтообробних машин не враховують досить складні механізми формування міцностних властивостей ґрунту. Робочі органи в основному уніфіковані, а їхній вплив на ґрунт, як правило, перевищує відповідні сили опору ґрунтів. Якщо

грунтообробні знаряддя будуть конструюватися й далі таким чином, то неминуче виникнуть зайві сили, спрямовані на руйнування ґрунту. Звідси також неминуче руйнування агрономічно корисної структури й розвиток деградаційних процесів.

### 1.5.5.Пластичність і липкість

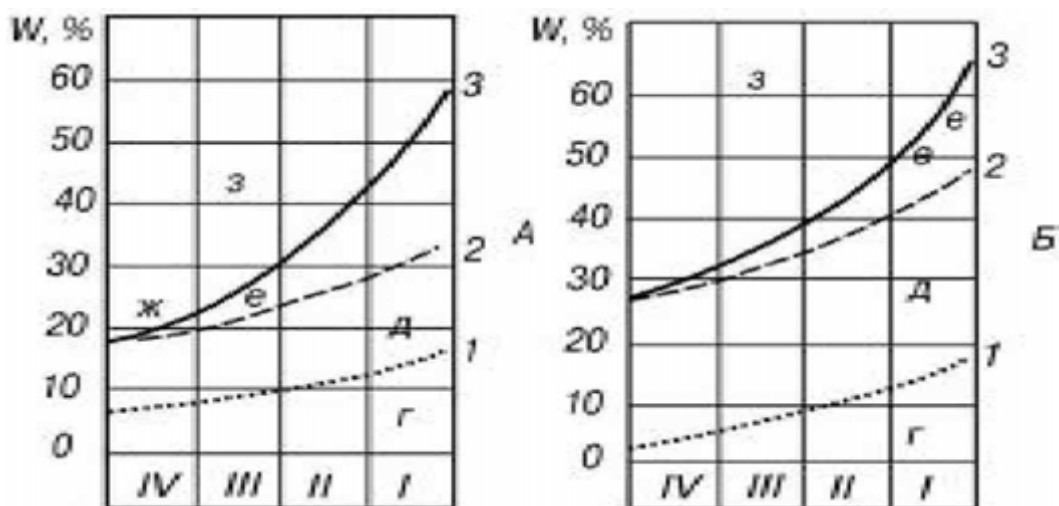
Далі розглянемо в тих же ґрунтах зміну пластичності й липкості залежно від вологості оброблюваного шару (табл. 1.5.5.1).

Таблиця 1.5.5.1.

#### Зміна липкості й пластичності в основних орних ґрунтах України залежно від вологості

Ґрунт	Діапазон вологості під час вимірів, % від маси ґрунту	Число пластичності	Липкість, г/см <sup>2</sup>
Дерново-підзолистий супіщаний	10-22	3-10	0-1,5
Чорнозем типовий важкосуглинковий	14-25	20-30	0,5-3,0
Темно-каштановий важкосуглинковий	10-26	24-35	0,5-7,0

Добре відомо, що пластичність визначається кількістю й складом тонкодисперсної частини ґрунту й, насамперед, наявністю в ній гідрофільності. У пісках і супіщаних ґрунтах пластичності й липкості майже не буває. Тому кількісно в таких ґрунтах ці показники близькі до нуля. Зі збільшенням умісту глинистих часток пластичність і липкість зростають, але через різноякісність органічних речовин, мінералогічного складу й складу поглинених основ лінійної залежності не спостерігається. На прикладі пластичності це добре демонструє рис. 1.5.5.1, складений П.У. Бахтіним (1969) по численним літературним даним.



**Рис. 1.5.5.1. Пластичність і консистенція малогумусних (А) і гумусних (Б) ґрунтів залежно від вологості:**

1 – межа усадки, 2 – нижня межа пластичності, 3 – верхня межа пластичності.  
I, II, III, IV – класи пластичності за Аттербергом (відповідно: високопластичні, пластичні, слабопластичні, непластичні).

Консистенція: г – тверда, д – напівтверда, е – пластична, ж – текуча, з – рідко-текуча

На наведеному прикладі найпоширеніші в ріллі України ґрунти віднесено до пластичних і напівтвердих, але ступінь прояву цих властивостей може змінюватися залежно від вологості – відповідно від слабо- до високопластичних і від розсипчастих до сильнов'язких. Важливо підкреслити, що залежність зміни технологічних параметрів від вологості зовсім не схожа на аналогічну залежність міцностних показників. Порівнюючи ці рисунки, можна легко в цьому переконатися. Якщо на першому з них залежність подібна синусоїдальній тригонометричній функції з ясно вираженими трендами на окремих ділянках кривої, то на другому – це типова ступенева залежність.

### **1.5.6. Фізичні властивості ґрунтів і кореневі системи рослин**

Глибина і щільність кореневмісного шару та морфологічні ознаки і продуктивність коренів. Через стійке збільшення рівноважної щільності, появу плужної підшви, поверхневе внесення мінеральних добрив, активізацію ерозійних процесів і інші причини глибина кореневмісного шару у довготривалої ріллі (порівняно з цілинним аналогом) зменшується,

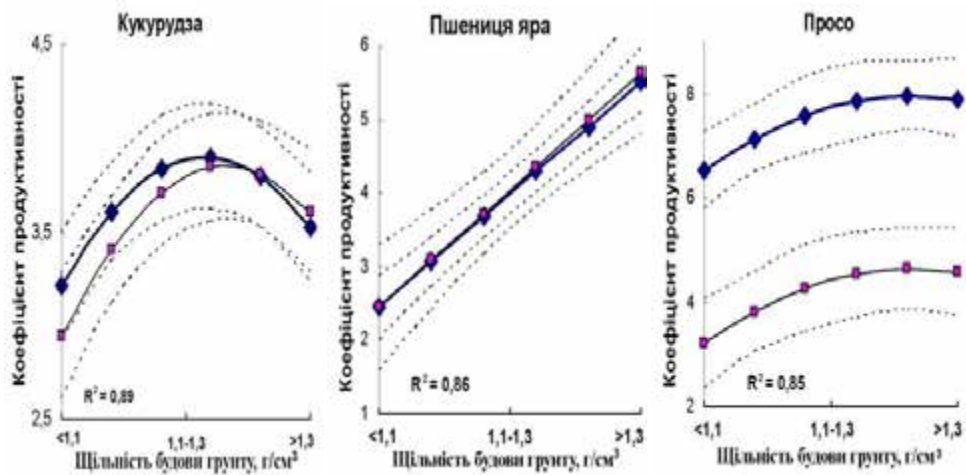
суттєво змінюються поглинальні морфологічно важливі характеристики коренів, погіршується коренепроникність структурних агрегатів і в цілому знижується біопродуктивність рослин (В.В. Медведєв и др., 2004).

За результатами проведених експериментів (С.І. Крилач, 2016) можна констатувати, що щільність будови піднасінного прошарку ґрунту є впливовим чинником для швидкості появи сходів досліджуваних культур, але на загальну кількість проростків щільність будови впливає по-різному – просо має однаково повну схожість на всіх варіантах, а кукурудза та пшениця яра – лише на помірно ущільненому піднасінному прошарку ґрунту. Це пов'язано із потребою більш тісного контакту дрібного насіння з ґрунтом. Виявлено, що щільність будови ґрунту в межах від 1,1 до 1,3 г/см<sup>3</sup> позитивно впливала на показники схожості насіння рослин такі як: енергія, швидкість та дружність проростання.

Отримані результати доводять, що переущільнення чорнозему типового негативно впливає на морфологію коренів: помітно зменшуючи їхню довжину та діаметр. Однак, негативні кількісні зміни у морфології коренів частково компенсуються поліпшенням їхньої якості (рис. 1.5.6.1).

Встановлено, що збільшення щільності піднасінного прошарку ґрунту, від розпушеного до ущільненого, негативно впливало на довжину та діаметр коренів. Спостерігалася тенденція зменшення довжини кореневої системи за збільшення рівня ущільнення ґрунту (рис. 1.5.6.2).

Встановлено, що на діаметр коренів досліджуваних культур щільність будови піднасінного прошарку ґрунту впливає по-різному. Так для рослин із середнім та дрібним розміром насіння переущільнення піднасінного прошарку ґрунту призводить до суттєвого зниження діаметру коренів. А для рослин із великим розміром насіння підвищення щільності будови ґрунту не призводило до різкого зменшення діаметру коренів.



**Рис. 1.5.6.1. Залежність коефіцієнту продуктивності коренів вирощуваних культур від ущільнення піднасіньового прошарку ґрунту (за фіксованих значень структурного складу наднасіньового прошарку та зволоження ґрунту).**

- ◆— за середніх значень решти факторів (розмір структурних агрегатів 3 – 10 мм, уміст води 0,75 НВ)
- за мінімальних значень решти факторів (розмір структурних агрегатів 0,5 – 3 мм, уміст води 0,50 НВ)

Встановлено, що ущільнений піднасіньовий прошарок ґрунту призводив до зменшення загального об'єму кореневої системи), а також кількості та довжини кореневих волосків, порівняно із розпушеним та помірно ущільненим, що негативно впливає на поглинання води із ґрунту.



**Рис. 1.5.6.2. Коренева система молодих рослин, вирощених за різного рівня щільності будови піднасіньового прошарку ґрунту за однакового (0,75 часток від НВ) рівня вологості**

В міру того, як ґрунт ущільнюється від розпушеного до ущільненого відмічали збільшення коефіцієнта продуктивності коренів. На нашу думку, посилення ефективності роботи кореневої системи за підвищення ущільнення ґрунту пояснюється здатністю рослин до адаптації. Тобто, в ущільненому ґрунті коренева система прагне свої невеликі розміри компенсувати підвищенням фізіологічної активності.

### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Особливості ґрунту, як специфічного фізичного об'єкта.
2. Хімічний склад мінеральної частини ґрунту.
3. Гранулометричний склад ґрунту.
4. Класифікація механічних елементів за Н.А. Качинським.
5. Поняття про структуру та структурність ґрунту
6. Ґрунтово-генетична (морфологічна) структура
7. Фактори, умови та механізми формування агрономічно цінної структури.
8. Географічний розподіл структурних елементів у ґрунтах України
9. Щільність ґрунту та її агрономічне значення
10. Технологічне і агрономічне значення фізико-механічних властивостей ґрунту

## РОЗДІЛ 2. ВОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ

### 2.1. Категорії, форми і види води у ґрунті

Посушливі умови домінують на більшості території України. За нашими даними, на 80% від її площі продуктивна волога у ґрунті є першим фактором, який лімітує рівень продуктивності сільськогосподарських культур. Тому накопичення вологи у кореневмісному шарі ґрунту та її збереження є першою умовою успішного ведення сільського господарства в Україні. Актуальність цього судження загострила зміна клімату, що відбулася в Україні з 70-х років 20 століття. Так в Поліссі прибавилося 1000 градусів ефективних температур, на Півдні – порядку 100-130 мм опадів на фоні збільшення температурного режиму. В цілому, клімат України істотно покращився в контексті гідротермічних умов росту культурних рослин, але за умови радикальної зміни рослинницьких технологій і цілому систем землеробства. Тому закономірностям вологозабезпечення рослини вчені-агрофізики завжди приділяли свою увагу. Агроном, перш за все, має володіти знаннями управління водним режимом ґрунтів.

Основоположниками вчення про вологу в ґрунті були О.О. Ізмаїльський, Г.М.Висоцький, П.С. Коссович. Пізніше водні властивості та режими ґрунтів продовжували вивчатись у дослідженнях О.Ф.Лебедева, С.І. Долгова, О.О.Роде, Н.А. Качинського, М.О.Дімо, С.Т.Вознюка, Н.Р.Нaise, Н.І.Наase, І.Р.Јensen, R.J.Salter, S.F.Haworth, J.B.Williams та ін.

Вода, що надходить до ґрунту, зазнає дії різних сил (сорбційних, осмотичних, меніскових, гравітаційних). Під їх дією вона або утримується в ґрунті, або пересувається в інших напрямках. *Вода може знаходитися у ґрунті в трьох агрегатних станах: твердому, газовому, рідинному. Тверда вода*, або лід служить потенціальним джерелом як рідинної, так і пароподібної води. Хоча рослини і не використовують цю воду, вона може

служити резервом доступної вологи, переходячи в рідкий і пароподібний стан при температурі понад 0°C.

**Пароподібна вода** міститься в ґрунтовому повітрі, де її завжди більше, ніж в атмосферному. Рух водяної пари у ґрунті відбувається від місць з більшим до місць з меншим тиском, а також від місць з вищою до місць з нижчою температурою, від капілярів більшого до капілярів меншого діаметру. За певних умов у ґрунті відбувається конденсація пари, тобто її перехід у рідку воду. У районах з посушливим кліматом конденсація має велике значення. За її рахунок у ґрунті може утворитися до 10-15 мм (150 м<sup>3</sup>/га) вологи за добу.

**Вода в рідинному стані** має для ґрунту і для рослин винятково важливе значення. Цей стан води ділиться на види, залежно від характеру її зв'язку з твердою фазою ґрунту: 1) хімічно зв'язану, 2) фізично зв'язану, 3) вільну.

**Вид хімічно зв'язаної води** поділяють на два різновиди: **кристалізаційну** та **конституційну**. Перший з них - це вода кристалогідратів ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), а другий - вода гідроксидів.

Хімічно зв'язана вода не бере безпосередньої участі у зволоженні ґрунту, але переходить в активну воду ґрунтового розчину після розчинення відповідних мінералів. Ця вода абсолютно нерухома і недоступна для рослин.

Фізично зв'язана вода ділиться на два підвиди: **міцно зв'язану гігроскопічну** та **неміцно зв'язану плівкову**. Цей вид води зв'язується з твердою фазою ґрунту за допомогою сил молекулярного притягання внаслідок адсорбції.

**Міцно зв'язана (гігроскопічна) вода** утворюється при адсорбції пари води на поверхні твердих часток ґрунту у вигляді 2-3 орієнтованих шарів молекул води. Ця вода утримується твердою фазою дуже міцно і зовсім недоступна для рослин. Тиск, з яким ця вода фіксується ґрунтом, досягає 10<sup>7</sup> см водяного стовпа.

Кількість водяної пари, що адсорбується ґрунтом прямо пропорційна відносній вологості повітря, в середовищі якого перебуває ґрунт. Гранична кількість води, яка може бути ввібрана ґрунтом в пароподібному стані при відносній вологості повітря біля 100% (94-98) має назву **максимальної гігроскопічності (МГ)**. При цій вологості плівка води складається з 3-4 шарів молекул. На гігроскопічну вологість ґрунту, зокрема і на МГ дуже впливає гранулометричний склад. П.Ф.Мельниковим (1949) були одержані такі дані (табл.2.1.1):

Таблиця 2.1. 1

**Вплив розміру часток ґрунту на максимальну гігроскопічність**

<b>Розмір часток, мм</b>	<b>МГ, %</b>
0,01-0,005	0,4
0,005-0,004	1,1
0,004-0,003	1,5
0,003-0,002	1,9
0,002-0,001	5,1
0,001-0,0005	25,4

Гумус також підвищує гігроскопічність ґрунту. Зв'язування гігроскопічної води ґрунтом, супроводжується виділенням тепла (теплота абсорбції) 336 дж/г води. Ця вода замерзає при температурі  $-78^{\circ}\text{C}$ .

**Неміцно зв'язана (плівкова) вода:** адсорбційні сили поверхні ґрунтових часток не насичуються повністю за рахунок пароподібної води. Наступні порції води притягуються за рахунок зовнішніх молекулярних сил. Так навколо міцно зв'язаної води утворюються плівки неміцно зв'язаної. Ця вода складається із слабоорієнтованих молекул товщиною плівки до кількох десятків молекулярних шарів. Крім того, вона здатна рухатися з місць з більш товстою до місць з менш товстою плівкою. Частина цієї води може бути доступною для рослин. Такий стан зволоження ґрунту, коли вміст у ньому плівкової води досягає

максимального значення, називають **максимальною молекулярною вологостістю ґрунту (ММВ)**.

Вид **вільної води** є доступним для рослин. Він ділиться на два підвиди: 1) капілярну та 2) гравітаційну.

**Вільна капілярна вода** заповнює капіляри ґрунту різної величини та форми, в яких сили капілярної взаємодії (меніскові) між водою та твердою фазою ґрунту перевищують сили гравітації.

Підґрунтові води, що залягають на певній глибині, піднімаються вгору по капілярах. Висота підняття залежить від діаметра капілярів, механічного складу ґрунту (чи породи), вмісту гумусу. В природних умовах залежно від механічного складу, якщо рівень підґрунтових вод залягає не глибше 5 м від поверхні ґрунту, то так звана **капілярна торочка** може сягати коренів рослин. При заляганні підґрунтових вод глибше 8 м, вони майже не діють на поверхневі шари ґрунту навіть при суглинковому чи глинистому гранулометричному складі. Капілярна вода рухається в ґрунті в усіх напрямках. Напрямок і швидкість переміщення зумовлюється різницею капілярних потенціалів. Виділяють капілярно-підвищену та капілярно-підперту воду. **Капілярно-підвішена вода** утворюється при надходженні її з гори в ґрунт з нормальною водопроникністю. Ця вода заповнює капіляри і рухається від нижчих до вищих потенціалів до того часу, доки не настане так звана **вологість розриву капілярів (ВРК)**, за якої рухомість ґрунтової вологи в процесі висушування різко зменшується.

При зволоженні ґрунту знизу (від підґрунтових вод) утворюється **капілярно-підперта вода**. Зона капілярного насичення над підґрунтовою водою носить назву **капілярної торочки**.

В ґрунтах легкого механічного складу є стикова капілярно-підвішена вода, яку іноді називають манжетною. Є ще й капілярно-посаджена, або підперто-підвішена вода, що утворюється в шаруватій товщі ґрунту чи породи, коли дрібнозернистий шар підстилається більш грубозернистим.

**Гравітаційна вода** - теж підвид вільної води. Основною її ознакою є здатність рухатися під дією сили тяжіння. Сорбційні, меніскові сили на воду не діють. Виділяють гравітаційну воду, що просочується та воду водоносних горизонтів. Вода водоносних горизонтів утворює підґрунтові води над водотривким наприклад, глинистим шаром.

Рідка вода в ґрунті ділиться на категорії за такими ознаками: 1) рухомість; 2) доступність рослинам.

**Категорія нерухомої води** включає до свого складу хімічно та фізично зв'язану воду. **Категорія слаборухомої води** включає неміцно зв'язану або плівкову воду. **Категорія добре рухомої води** включає до свого складу капілярно-підвищену, капілярно-підперту, внутріагрегатну та гравітаційну вологу.

За ознакою доступності рослинам виділяють три категорії води в ґрунті: 1) недоступну, до якої належить хімічно та фізично зв'язана вода; 2) слабо доступну, до якої входить неміцно зв'язана, стикова та внутріагрегатна вода і 3) легкодоступну, що включає капілярно-підвищену, капілярно-підперту та гравітаційну воду.

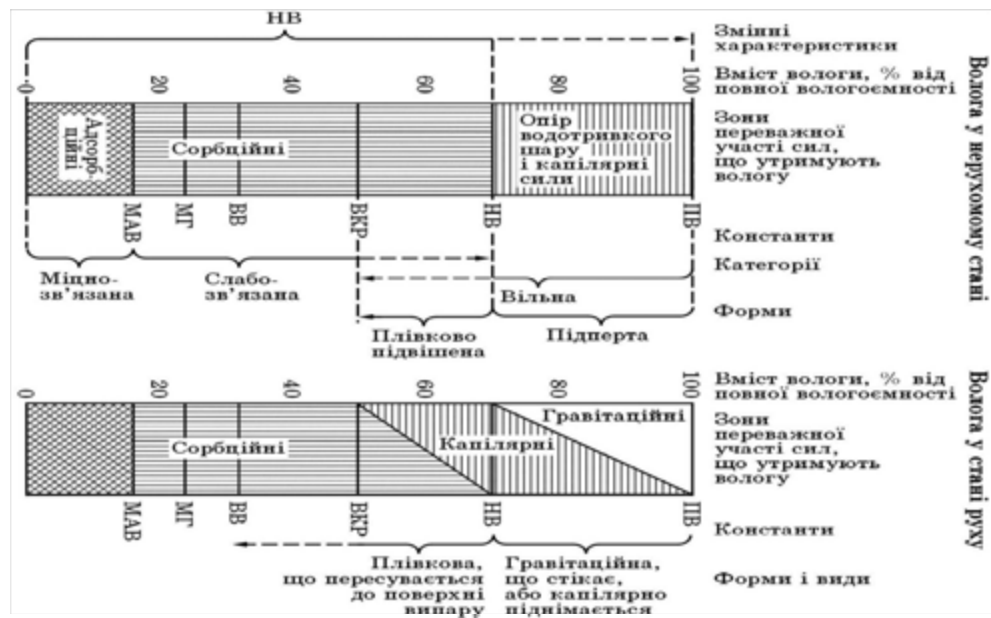
Спостерігаючи за вологістю ґрунтів, під різним рослинним вкриттям, Г.М.Висоцький помітив, що: 1) поверхня ґрунту найбільше висихає під чорним паром, далі - на цілині, а менше всього - під лісом; 2) загалом(по всьому профілю) ґрунт більше всього висушується на цілині (під природною трав'янистою рослинністю), далі під лісом, а менше всього - під чорним паром; 3) підґрунтя втрачає більше всього вологи під лісом, далі - на цілині, а менше всього - під чорним паром. За характером зволоження всі ґрунти можна розділити надві основні групи 1) переважно атмосферного зволоження (автоморфні) та 2) зволоження переважно від підґрунтових вод (гідроморфні).

## 2.2. Водно-фізичні властивості ґрунту

До **водних властивостей ґрунтів** належать: 1) вологоємність; 2) водопроникність; 3) водопідйомна здатність; 4) водовіддача; 5) водоутримуюча здатність

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.2.2.1) (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 міцнозв'язаної води збігаються зі сферою впливу максимальної адсорбційної вологоємності. 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).

**Повна вологоємність**, або **водовмісткість ґрунту** настає тоді, коли всі її пори та пустоти заповнюються водою. В природних умовах ґрунт може досягти її тоді, коли знаходиться нижче рівня підґрунтових вод. Розрахувати ПВ можна за загальною пористістю ґрунту, але слід пам'ятати, що внаслідок набрякання при зволоженні, а також наявності защемленого повітря, ПВ не завжди дорівнює загальній пористості (% від об'єму), поділеній на щільність ґрунту.



**Рис. 2.2.1. Форми ґрунтової вологи у ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу (за О.А. Роде)**

**Капілярна вологоємність** - максимальний вміст у ґрунті капілярно-підпертої води над рівнем ґрунтових вод.

Вода піднімаючись вгору під дією меніскових сил, заповнює всі капілярні пори ґрунту. Крупні (некапілярні) пори залишаються заповненими повітрям. По висоті капілярної торочки КВ неоднакова. Знизу вона близька до ПВ, а вгорі - до НВ.

**Найменша польова вологоємність** - максимальний вміст у ґрунті капілярно-підвішеної води. Щоб її визначити в полі обкопану канавою ділянку заливають водою. Гравітаційна вода стікає до низу, розсмоктуючись по капілярах. Поверхню ґрунту накривають солом'яною чи

поліетиленом, щоб усунути випаровування, а через день-два відбирають проби ґрунту для визначення НВ.

Сила, з якою підвішена капілярна волога утримується ґрунтом, становить  $3,4 \cdot 10^4 \text{ Па} = 3,4 \cdot 10^2 \text{ см вод-ст.}$ , так що рF десь  $< 3$ . Саме на цю вологоємність ґрунту орієнтуються, коли розраховують норму зрошення.

**Гранична польова вологоємність** - це максимальний вміст води, що здатна утриматися в ґрунті у відносно рівноважному підвішено-підпертому стані. Ця вологоємність не стабільна, вона постійно зменшується внаслідок уповільненої дії інфільтрації гравітаційної води, досягаючи НВ. Хід цього процесу може тривати 1-2 доби.

**Максимальна адсорбційна вологоємність** - максимальна кількість міцно зв'язаної води, що утримується в ґрунті силами адсорбції (молекулярного притягання). МАВ менша від МГ, і звичайно, рослинам не доступна.

Однією з найважливіших ґрунтово-гідрологічних характеристик ґрунту є його «водопроникна здатність», або ВОДОПРОНИКНІСТЬ, що вимірюється глибиною шару води, яка проходить в ґрунт за одиницю часу. Надходження води в ґрунті при цьому відбувається в три стадії: вбирання, насичення та фільтрації. Початкова стадія вбирання відбувається порівняно з високою швидкістю. Вільні пори ґрунту послідовно заповнюються водою під дією цілого ряду сил: сорбційних, меніскових, гравітаційних і під впливом градієнта напору, відбувається процес насичення ґрунту водою. В насиченій товщі ґрунту безперервний рух води зумовлюється градієнтом напору. Це стадія фільтрації. Швидкість проникнення води в ґрунт, що поступово зменшувалась у часі, досягає більш-менш постійної величини. Фільтрація описується рівнянням Дарсі:

$$Q = K_f \cdot G \cdot I / Z$$

Де  $Q$  - кількість води, що проходить у ґрунт,  $\text{см}^3$ ;

$G$  - площа поперечного перерізу,  $\text{см}^2$ ;

$I$  - напір гідравлічний,  $\text{см}$ ;

$Z$  - довжина фільтраційного потоку;

$K_f$  - коефіцієнт фільтрації, см/с.

**Коефіцієнт фільтрації ( $K_f$ )** - найважливіша характеристика водопроникності. Він залежить від ряду факторів: 1) механічного складу; 2) структурності; 3) виду пористості; 4) вмісту гумусу; 5) складу ввібраних катіонів; 6) міри зволоження; 7) температури ґрунту та ін.

Н.А. Качинський запропонував таку градацію ґрунтів за їх водопроникністю: якщо ґрунт пропускає за годину понад 1000 мм води при напорі 5 см і температурі 10°C, то його водопроникність **провальна**; при 1000-500 - **надто висока**, 500-100 - **найкраща**, 100-70 - **добра**, 70-30 - **задовільна**, менше 30 - **незадовільна**.

**Водопідйомна здатність** - властивість ґрунту піднімати воду від підґрунтових вод на певну висоту за рахунок меніскових (капілярних сил). Мірою цієї властивості є висота в метрах. Вона залежить від механічного складу та структури, зложення та набухання ґрунту. Капілярні сили вже починають проявлятися у пор діаметром 8 мм, досягаючи максимальної ефективності в порах 0,1-0,003 мм. Більш тонкі пори заповнені зв'язаною водою. Висота капілярного підняття (Н) розраховується для вертикальних капілярів за формулою Жюрена:

$$Q = 2a / r \cdot d \cdot g$$

де,  $a$  - поверхневий натяг води (75 дин/см);

$r$  - радіус капіляра,  $g$  - прискорення сили гравітації (981 см/с<sup>2</sup>);

$d$  - щільність води, г/см<sup>3</sup>.

Водопідйомна здатність зростає від пісків до суглинків, а від суглинків до глин - знову спадає. Для піщаних ґрунтів Н= 0,5 - 0,7 м, для суглинкових та глинистих - 3-6 м. Дякуючи цій здатності, ґрунтові води, коли вони залягають неглибоко, постачають воду рослинам. Але нерідко це викликає і негативні явища - перезволоження та оглеєння ґрунту, надмірне надходження в нього легко-розчинних солей.

**Водовіддача (ВВ)** - стікання вільної (гравітаційної) води із водоносного горизонту та капілярної торочки при зниженні рівня підґрунтових вод.

Характеризується коефіцієнтом водовіддачі - відношенням об'єму стікаючої води до загального об'єму ґрунту. Цей показник дає змогу визначити можливі втрати води при зрошенні, а також кількість води, що підлягає відведенню при осушенні.

**Водоутримуюча здатність ґрунту** - його властивість, як дисперсного пористого тіла утримувати певну кількість води під дією різного роду сил: сорбційних, осмотичних, капілярних. Це ні що інше, як всмоктуюча сила ґрунту, величина протилежного знаку по відношенню до потенціалу ґрунтової вологи.

### 2.3. Джерела води в ґрунті

Наявність води в ґрунті - обов'язкова умова росту та розвитку рослин, мікроорганізмів ґрунту. Біля 90% маси зелених рослин та мікроорганізмів складає вода. На синтез 1 г сухої речовини в рослинному організмі через транспірацію витрачається 250-1000 г води і більше. Ця вода надходить до рослини в основному із ґрунту. При достатній кількості опадів в тій чи іншій місцевості вода виступає головним лімітуючим фактором урожайності культур.

Вода надходить до ґрунту у вигляді атмосферних опадів, з підґрунтових вод, при конденсації водяних парів із атмосфери, при зрошенні. В незрошуваному (богарному) землеробстві головним джерелом води в ґрунті є атмосферні опади.

**Підґрунтові води** — води, що містяться у верхній частині земної кори. Заповнюють проміжки, пори, тріщини, пустоти. У ґрунті заповнюють капіляри. Поділяються на води зони аерації, ґрунтові і артезіанські.

Підземні води розташовані нижче земної поверхні і дна поверхневих водоймищ і водотоків, що заповнюють пори, тріщини й ін. порожнечі гірських порід у рідкому, твердому або пароподібному стані. Утворюються внаслідок інфільтрації атмосферних опадів та поверхневих вод, конденсації водяної пари, магматичних процесів та метаморфізму тощо.

Шари гірських порід, що насичені гравітаційною водою, утворюють водоносні горизонти, або пласти, котрі складають водоносні комплекси, гірські породи яких характеризуються різними ступенями вологості, водопроникності та водовіддачі. Перший від поверхні Землі постійно існуючий безнапірний водоносний горизонт називається горизонтом ґрунтових вод. Безпосередньо над його поверхнею (дзеркалом ґрунтових вод) поширені капілярні води, які можуть бути завислими, тобто не з'єднаними з дзеркалом ґрунтових вод. Весь простір від поверхні Землі до дзеркала ґрунтових вод називається зоною аерації, в якій проходить просочування вод з поверхні. В зоні аерації на окремих розмежованих прошарках порід, які характеризуються меншою фільтраційною здатністю, в період живлення ґрунтових вод можуть утворюватись тимчасові, або сезонні, скупчення підземних вод, які називається верховодкою. Водоносні горизонти, що залягають нижче ґрунтових вод і відділяються від них пластами водонепроникних (водотривких) або слабопроникних порід, називаються горизонтами міжпластових вод. Вони звичайно перебувають під гідростатичним тиском (артезіанські води), рідше мають вільну поверхню — безнапірні води.

Інфільтраційні води утворюються завдяки просочуванню з поверхні Землі дощових, талих та річкових вод. За складом вони переважно гідрокарбонатно-кальцієві та магнієві. При вилугованні гіпсових порід формуються сульфатно-кальцієві, а при розчиненні соленосних — хлоридно-натрієві води. Конденсаційні підґрунтові води утворюються внаслідок конденсації водяних парів у порах або тріщинах порід. Седиментаційні води формуються в процесі геологічних осадоутворень і звичайно являють собою змінені поховані води морського походження (хлоридно-натрієві, хлоридно-кальцієво-натрієві тощо). До них також належать поховані розсоли солерудних басейнів, а також ультрапрісні води піщаних лінз у моренних відкладах. Води, що утворюються із магми при її кристалізації і при метаморфізмі гірських порід, називаються

магматогенними або ювенільними водами. Серед підземних вод розрізняють верховодку, ґрунтові води й міжпластові (безнапірні та артезіанські води); за ступенем мінералізації — прісні й мінеральні води.

За ступенем мінералізації (за В. Вернадським) ґрунтові води поділяються на:

- прісні (до 1 г/л);
- солонуваті (від 1 до 10 г/л);
- солоні (від 10 до 50 г/л);
- підземні розсоли (понад 50 г/л).

Мікроорганізми, що мешкають в підземних водах дуже активні, адаптивні до різних ступенів мінералізації, температури, тиску. Вони беруть участь в розкладі і синтезі різних органічних і мінеральних сполук, здатні впливати на зміну сольового і газового складу природних вод, їх мінералізацію. Проникнення бактерій в глибину лімітує висока температура (вище 95-100°C) і мінералізація (130–270 г/кг — так звані «міцні розчини»). Бактерії та мікроби проникають в пори породи і перебувають там в капілярній воді, вкривають стінки пустот.

Дисульфідуючі бактерії, окислюючі речовини, в тому числі нафтові вуглеводи відновлюють сульфати до сірководню. Денітрифікуючі бактерії, окислюючи органічні речовини відновлюють нітрати до нітритів і молекулярного азоту. До них належать бактерії, що зброджують кислоти і здійснюють розклад вуглеводів з утворення органічних кислот, вуглекислого газу і води, бактерії, що розкладають нафтові кислоти та інші органічні речовини; тіонові бактерії, що розвиваються при значенні рН біля 7, окислюють сірку та сірковмісні сполуки до сірчаної кислоти; бактерії, що окислюють вуглеводи парафінового ряду; метаноокислюючі бактерії, нітрифікуючі бактерії і ін.

У розрізі літосфери виділяють 4 зони, з них три верхні заселені мікроорганізмами, четверта — безжиттєва. Перша належить до ґрунтових

утворень. Простягається до глибини трьох метрів, де проходить розклад органічних речовин. Нижче знаходиться зона аерації (глибиною до кількох сотень метрів), заселена анаеробами.

Рівень підземних вод — перевищення вільної чи п'езометричної поверхні вод у даній точці (у даній ділянці масиву гірських порід) по відношенню до будь-якої площини порівняння (наприклад, по відношенню до рівня моря).

Дані про вміст вологи 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 практик не значення має лише запас продуктивної вологи, яка може бути засвоєна рослинами. Продуктивною вологою називають всю кількість води в ґрунті зверху 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 води (ДВ) в ґрунті. Під дефіцитом води в ненасичених водою ґрунтах розуміють різницю між НВ і фактичною вологістю в даний момент ( $W_t$ ).

$$W_{\partial v} = W_{нв} - W_t$$

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:

$$W_{\partial v} = W_{нв} - W_t \cdot h \cdot d_v ,$$

де  $W_{\partial v}$  - дефіцит води, т/га;

$W_{нв}$  - найменша вологоємність ґрунту, % від маси ґрунту;

$W_t$  - польова вологість, % від маси ґрунту;

$h$  - розрахунковий шар ґрунту, см;

$d_v$  - щільність розрахункового шару ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Розрахунок норми поливу здійснюють за формулою:

$$N_p = W_{\partial v} \cdot h \cdot d_v ,$$

де  $N_p$  – 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 води 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 води по 10-сантиметрових шарах до глибини 1 м за формулою:

$$W_{np} = \frac{(W_t - W_{вв}) \cdot h \cdot d_v}{10} ,$$

де  $W_{пр}$  - 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:

$$\Sigma W_{пр} = W_{0-10} + W_{10-20} ,$$

$$\Sigma W_{пр} = W_{0-10} + W_{10-20} + \dots + W_{90-100}$$

Оцінка запасів продуктивної вологи в ґрунті здійснюють за шкалою (табл.2.3.2).

Таблиця 2.3.2

### 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. 2.3.3), 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:

*для районів зі стійкою зимою*

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

*для районів з нестійкою зимою*

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

де  $\Delta W$  – зміни запасів продуктивної вологи 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.

Під водним режимом ґрунту розуміють сукупність усіх явищ, що відбуваються з водою в ґрунті. Це такі явища: 1) надходження води до ґрунту; 2) рух, взаємодія з ґрунтом, утримування води різними силами (адсорбційними, капілярними, осмотичними, гравітаційними); 3) витрати води з ґрунту.

Кількісним виразом або загальною оцінкою водного режиму ґрунту є водний баланс. Він враховує початковий та кінцевий запаси води в ґрунті за певний період часу. Щоб його скласти, треба знати всі статті надходження і витрат води. Повне рівняння водного балансу має такий вигляд:

$$B_1 + B_{опад} + B_{підгр.в.} + B_{конденс} + B_{прит.} + B_{біч.прит} = \\ B_2 + B_{вип.} + B_{трансп.} + B_{інфільтр.} + B_{біч.стік} + B_c$$

де  $B_1$  - запас вологи в ґрунті на початку періоду спостережень;

$B_2$  - те ж в кінці цього періоду;

$B_{опад.}$  - сума опадів за весь період спостережень;

$B_{підгр.в.}$  - кількість води, що надходить з підґрунтових вод;

$B_{конденс.}$  - кількість води, що утворилась шляхом конденсації водяних парів;

$B_{прит.}$  - кількість води, що надходить з поверхневим притоком;

$B_{біч.прит}$  - кількість води, що надходить від бічного притоку підґрунтових вод;

$V_{\text{вип.}}$  - кількість води, що випарилася з поверхні ґрунту за період спостережень (фізичне випаровування);

$V_{\text{транспір}}$  - кількість води, втраченої на транспірацію;

$V_{\text{інфільтр.}}$  - волога, що інфільтрувалася за межі розрахункового шару ґрунту чи в підґрунтові води;

$V_{\text{біч.стік}}$  - вода, втрачена на бічний підґрунтовий стік;

$V_c$  - вода, втрачена на поверхневий стік.

Ліва частина цього рівняння - статті надходження води до ґрунту, а права - статті витрат. Знак рівності між лівою і правою частинами має місце тоді, коли немає прогресуючого зволоження чи висушування території, як це найчастіше і буває в природі.

У багатьох випадках рівняння водного балансу доцільно спрощувати, виходячи з таких міркувань:

1) запаси води в початковій і кінцевій строки спостережень можна вважати рівними, якщо клімату місцевості не відзначається істотних змін:

$$V_1 = V_2;$$

2) бічний притік і стік на рівномірних схилових елементах рельєфу, як  $V_{\text{прит.}} = V_{\text{біч.стік}}$

3) кількість конденсованої вологи, порівняно із іншими статтями балансу, дуже мала, тому в практичних розрахунках її можна не брати до уваги.

Рівняння водного балансу, з урахуванням вищесказаного, спроститься до виду:

$$V_{\text{опад}} + V_{\text{підгр.в.}} + V_{\text{прит.}} = V_{\text{вип.}} + V_{\text{транспір.}} + V_{\text{інфільтр.}} + V_{\text{біч.стік}} + V_c$$

Є й інша точка зору на спрощення загального рівняння водного балансу, згідно з якою  $V_1$  може не дорівнювати  $V_2$ , а різниця між ними має важливе значення:

$$V_2 - V_1 = (V_{\text{опад}} + V_{\text{підгр.в.}}) - (V_{\text{вип.}} + V_{\text{транспір.}} + V_{\text{інфільтр.}})$$

При цьому підході ігнорується поверхневий стік і притік, тому, строго кажучи, він може застосовуватись до рівнинних територій, або таких, що мають рівномірний нахил. Якщо різниця  $V_2 - V_1$ , має позитивний знак, то запас води в ґрунті наростає, такий ґрунт може потребувати осушення. Якщо ж ця різниця негативна, то ґрунт вимагає зрошення.

Крім того, інколи доцільно виключити водообмін між ґрунтом і підґрунтям. Це доцільно зробити при глибокому заляганні ґрунтових вод.

Водний баланс можна складати для окремих шарів чи всього профілю ґрунту до певної глибини. Статті надходження та витрат води можна виражати в  $\text{м}^3/\text{га}$  або в мм: ( $1 \text{ мм} = 10 \text{ м}^3/\text{га}$ ).

Водний режим, як і все в природі, має циклічну річну періодичність (повторюваність) у часі.

Надходження води до ґрунту, в певну його товщу, визначають для кожного 10-сантиметрового шару, відбираючи в полі зразки буром в алюмінієві сушильні стаканчики - бюкси, щоб визначити польову вологість ґрунту. Запас води в кожному з 10-сантиметрових шарів розраховують за формулою:

$$V_{0-10}, \text{ мм} = 0,1 \cdot W \cdot 10 \cdot \text{ЩГ} = W \cdot \text{ЩГ},$$

де  $W$  - польова вологість, %;  
ЩГ - щільність ґрунту,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Розрахувавши  $V_{10-20}$ ,  $V_{20-30}$  ...  $V_{90-100}$ , знаходимо їх суму. Це і буде запас вологи в метровому шарі ґрунту.

Обмін вологою між ґрунтом та підґрунтовими водами визначають, вимірявши підйом ( $h$ , см) підґрунтових вод і знаючи водовіддачу ґрунту, обчислюють ту її кількість, що просочується в підґрунтові води. Дуже приблизно відтік води з товщі ґрунту в підґрунтові води знаходять також за різницею між наявним запасом води та її запасом в тій самій товщі при НВ.

Дуже важливим показником річного водного балансу є співвідношення між інфільтрацією і кількістю води, що випаровується з ґрунту. Залежно від цього, співвідношення в різних ґрунтово-кліматичних зонах і на окремих ділянках місцевості (з різним рельєфом та глибиною залягання підґрунтових вод) водний режим формується неоднаково, він може бути різних типів.

**Типи водного режиму ґрунтів.** Крім річної кількості опадів для визначення характеру водного режиму слід знати величину випаровуваності за рік. **Випаровуваність** - це найбільша кількість вологи, що може випаровуватися з відкритої водної поверхні або з поверхні постійно перезволоженого ґрунту в даних кліматичних умовах за певний проміжок часу.

Як і кількість опадів, випаровування вимірюють в мм. Відношення річної суми опадів до річної випаровуваності називається **коефіцієнтом зволоження (КЗ)**. В різних природних зонах КЗ коливається від 3 до 0,1.

Г.М.Висоцький виділяв три типи водного режиму: промивний, непромивний та випітний. О.О.Роде, розвинувши вчення Г.М.Висоцького, виділив шість типів водного режиму:

1) **Мерзлотний тип** характерний для районів поширення вічної мерзлоти. Мерзлий шар ґрунту чи породи, що знаходиться на глибині відтанення мерзлоти, є водотривким шаром, на якому з'являється надмерзлотна верховодка. Шар відтанення протягом вегетаційного періоду насичений водою. В такому шарі олені й люди грузнуть у ґрунт. Лише всюдиходи можуть пройти по ньому, але після них у тундрі тривалий час нічого не росте: ні моху, ні трави.

2) **Промивний тип (КЗ>1)** поширений там, де річна кількість опадів перевищує випаровування. Товща ґрунту наскрізь (до ґрунтових вод) промивається водою, позаяк в річному циклі вологообігу нисхідні токи переважають над висхідними. Цей тип водного режиму називають ще ПЕРМАЦИДНИМ. Вода вимиває з ґрунту легкорозчинні солі, вилугує

його від карбонатів кальцію. В таких умовах найчастіше формуються збіднені основами (кислі) ґрунти. У профілі відбувається перерозподіл мулистих часток і колоїдів, виникають елювіальні та ілювіальні горизонти. В таких умовах формуються ґрунти підзолистого типу, червоноземи та жовтоземи. При близькому до поверхні ґрунту заляганні підґрунтових вод, низькій водопроникності ґрунтів в них розвивається **оглеєння** та **торфонакопичення**, тобто болотний процес ґрунтоутворення.

3) **Періодично промивний тип ( $KЗ = 1$ )**. Опади і випаровуваність збалансовані між собою при коливаннях  $KЗ$  в межах 0,8-1,2. В посушливі роки промочування товщі ґрунту обмежене до певної глибини, а у вологі можливе і наскрізне промочування. Такий тип водного режиму характерний для півдня лучно-лісової та лісостепової зони. Забезпеченість ґрунтів водою, як правило, достатня, хоча в окремі роки може бути і нестійкою.

4) **Непромивний тип ( $KЗ < 1$ )** інколи називають імпермацидним або замкнутим типом водного режиму. Волога спадів поширюється тільки в верхніх горизонтах ґрунту, не досягаючи підґрунтових вод. Ґрунтова волога знаходиться в підвішеному стані, капілярна торочка підґрунтових вод не сягає товщі ґрунту, яка зволожується опадами. Вся волога опадів, накопичена в ґрунті при непромивному типі водного режиму, знову витрачається в атмосферу в результаті фізичного випаровування і шляхом транспірації.

Такий водний режим характерний для степових ґрунтів-чорноземів, каштанових, бурих напівпустельних та сіро-бурих пустельних ґрунтів. Коефіцієнт зволоження знижується до 0,6 і навіть 0,1. Землеробство без зрошення неможливе.

5) **Випітний тип ( $KЗ < 1$ )** проявляється за тих же кліматичних умов, що і непромивний тип, але при близькому заляганні підґрунтових вод. Пере-

важають висхідні токи води по капілярах від підґрунтових вод. Засолені води таким чином викликають засолення ґрунтів, утворення солончаків.

б) **Іригаційний тип** створюється тоді, коли ґрунт додатково зволожується внаслідок зрошування. При цьому в різні періоди проявляються і різні типи водного режиму. Промивний тип може змінюватися непромивним, або навіть випітним, особливо при надмірному зрошенні. В останньому випадку можливі процеси вторинного засолення ґрунтів.

Слід зазначити, що для характеристики умов природного зволоження ґрунтів (і росту рослин) Г.Т.Селяниновим було запропоновано гідротермічний коефіцієнт (ГТК), що являє собою відношення суми опадів до суми середньодобових температур понад 10°C протягом вегетації рослин:

$$K = \sum Q_n / \sum T_{>10}$$

Якщо цей коефіцієнт <0.5, то умови сухі, 0,6-1,0 - посушливі, 1,1-1,5 - вологі, 1,6-2,0 - надмірно вологі.

О.М.Костяков запропонував визначити вологозабезпеченість за коефіцієнтом водного балансу, що вираховується за формулою:

$$K = Q_n / B_{\text{вип}}$$

де  $Q_n$  - середня річна кількість опадів, мм;

$B_{\text{вип}}$  - величина випаровування за рік, мм.

Саме за цим коефіцієнтом було виділено три зони зволоження: надмірного, нестійкого та недостатнього.

#### **2.4. Рух вологи в системі «ґрунт-рослина-атмосфера»**

Для нормального росту і розвитку рослини необхідно проходження процесів синтезу нових біологічних речовин, виробітку енергії за умови відсутності перегріву вона має постійно поглинати з ґрунту воду й мінеральні речовини. Синтез біологічних речовин відбувається за рахунок фотосинтезу – дивного біологічного процесу формування органічних

речовин з окиси вуглецю під дією сонячної енергії хлорофілом зелених рослин. Необхідними умовами протікання фотосинтезу є сонячна енергія у вигляді білого світла, CO<sub>2</sub> атмосфери і ґрунтова волога (Е.В. Шеин, 2005). Дихання є зворотним процесом, при якому рослина поглинає кисень, виділяє CO<sub>2</sub> і воду, витрачає накопичену енергію для життєдіяльності рослини. Випаровування великої кількості води скрізь чарунки листя рослини називається транспірацією. Транспірація і фотосинтез взаємопов'язані процеси, інтенсивність яких визначають продуктивність рослини. Визначимо, що кількість води, що необхідна для безпосередньо для фотосинтезу, на порядок менша з водою, яка витрачається на транспірацію (2-10% від загальної кількості води, що споживається рослиною), тому її, як правило, не ураховують. Процес транспірації кількісно характеризується декількома показниками. По-перше, агроному слід знати **коефіцієнти транспірації** у розрізі основних сільськогосподарських культур, у тому числі плодово-ягідних і овочевих **Коефіцієнт транспірації** – це відношення маси води, що витрачається на створення одиниці маси сухої речовини культурної рослини за її вегетаційний період. Він коливається у межах 250-1200. Цей коефіцієнт характеризує, в певній мірі, посухо стійкість культурної рослини, ретельне вивчення якої є предметом спеціальних навчальних курсів – фізіології рослин, рослинництва, землеробства тощо. Безпосередньо транспірація вимірюється кількістю води, що випаровується за одиницю часу, як правило, у мм за годину чи добу. Виділяють **потенціально можливу транспірацію** при 100% покритті рослинністю поверхні ґрунту і **актуальну, тобто фактичну на даний момент часу**. Відношення актуальної до потенціально можливої називають **відотною транспірацією**, яка може бути кількісною характеристикою стану рослини і її забезпеченості продуктивною вологою, і вона вимірюється безрозмірним коефіцієнтом; чим менше він за одиницю, тим гірші умови життєдіяльності рослини. Рух вологи в системі «ґрунт-рослина-

атмосфера» можна кількісно охарактеризувати через поняття потенціалу вологи системи, що розглядається. Використовуються значення повних тисків (потенціалів) вологи: повний тиск вологи у ґрунті ( $P_r$ ), корені ( $P_k$ ) листі ( $P_l$ ) і атмосфері ( $P_a$ ). Рух вологи з ґрунту скрізь рослину до атмосфери можливий лише за умови, коли  $P_r > P_k > P_l > P_a$  (з урахуванням негативного знаку тиску вологи). За рахунок перепаду тиску між ґрунтом і коренем формується потік ґрунтової води в корені; між коренем і листям – до листів; між листом і атмосферою – пари води до атмосфери, тобто на транспірацію, що веде до охолодження листя. Зрозуміло, що водний потік у чинній системі рівнозначний в усіх її частинах. Розглянемо типову добову динаміку градієнтів тиску вологи у системі «ґрунт-рослина-атмосфера». Ранній туманний ранок – в атмосфері дефіцит вологи наближається до нуля, у ґрунті вологи достатньо; потоків води скрізь рослину до атмосфери немає. Піднялося сонце, відносна вологість повітря стало менша за 100%, тобто став мати місце дефіцит вологи. Почав збільшуватися перепад тиску у листі й атмосфері, за рахунок чого починається рух води у листі, який починає підсихати і випаровуватися водяна пара до атмосфери. Виникає перепад тиску вологи між коренем і листям, що викликає рух води між корінням і листям і зниження водного потенціалу у корінні. З'являється потік ґрунтової води до коріння. Цей потік є керуюча і регламентуюча величина. Високий потік, висока транспірація – рослина добре росте і розвивається. Зменшується цей потік – зменшується підтік вологи до коріння, рух води скрізь рослину, транспірація, приріст рослини, яка починає в'янути. Ґрунт висихає і при досягненні його критичної вологості рослина гине, або переходить у стан анабіозу. Тому головним фактором, який регулює водоспоживання рослини, є тиск (потенціал) ґрунтової вологи, а параметром, який його характеризує, критична вологість ґрунту. Абсолютним показником критичної вологості є вологість зів'язання, яка визначається гранулометричним складом і гумусованістю ґрунту і видовим складом

рослинності, вивчення особливостей яких ні є предметом вивчення агрофізики. Таким чином, можна окреслити **загальну схему** вологоспоживання рослини ґрунтовою вологою. Найбільша забезпеченість має місце при наявності води у ґрунті на рівні найменшій польовій вологості, коли капілярні шпарини заповнені водою. Це можна спостерігати до досягнення вологості розриву капілярів, після якої різко обмежується доступність води. Далі споживання ґрунтової води починає різко зменшуватися, а при висиханні ґрунту до вологості зів'язання водоспоживання рослини припиняється. Необхідно звернути увагу на істотний аспект, коли вміст вологи, навпаки, перевищує найменшу польову вологості. Рослині не достає повітря, бо воно локалізовано у некапілярних шпаринах. За таких умов, як не дивно волого споживання рослини теж зменшується. При довготривалому дефіциті повітря рослина гине. Тому, у першому випадку за посушливих умов з метою отримання економічно доцільного урожаю сільськогосподарських культур необхідно зрошення. У другому випадку, коли має місце довготривале перезволоження, - осушення.

**Регулювання водного режиму** базується на врахуванні кліматичних і ґрунтових умов, а також потребу воді сільськогосподарських культур. На загальний і корисний запас вологи в ґрунті можна істотно впливати, змінюючи як статті надходження, так і статті витрат у водному балансі. В різних ґрунтово-кліматичних умовах є свої особливості регулювання водного режиму.

В районах лісової зони, та й в інших зонах, де має місце надмірне зволоження ґрунтів, поряд із осушенням (відкритими канавами та ін) застосовують різні агротехнічні заходи, направлені на відвід надмірної вологи з верхніх горизонтів ґрунту: планування поверхні ґрунту, нівелювання мікро- та мезопонижень, у яких весною і після літніх дощів спостерігається тривалий застій води. Створення гребенів та борозен, застосування вузькозагінної оранки вздовж схилів теж ефективний

захід, але слід враховувати можливий розвиток ерозії, не допускати надмірного стоку і змиву ґрунту. Високі гребені, підвищуючи поверхню випаровування, прискорюють осушення ґрунту.

Болотні ґрунти, яких так багато в лісовій зоні, потребують закритого дренажу або застосування відкритих дрен, для відводу надмірної вологи. Проте слід пам'ятати, що рівень підґрунтових вод на торфовищах мусить коливатись у меж 0,6-1,5 м і не опускатись нижче, бо це викличе переосушення і надмірний розклад (мінералізацію) торфу, його видування вітром.

В дерново-підзолистих ґрунтах, особливо легкого механічного складу, влітку може не вистачити вологи, для польових культур. Тому регулювання їх водного режиму мусить бути двобічним: надлишок вологи відводиться з полів по дренажних трубах в спеціальні водосховища (колектори), а при нестачі вологи - ця ж вода по цих же трубах, або дощуванням, повинна знову подаватися на поле.

В районах постійного зволоження, а також з посушливим кліматом слід застосовувати різні заходи для максимального накопичення та раціонального використання вологи. Це снігозатримання і збереження стоку талих вод, що забезпечується на схилах застосуванням протиерозійної агротехніки, будівництвом агротехнічних споруд (валів, терас), заходами лісомеліорації (ґрунтозахисними лісосмугами). Чорні пари - теж захід покращення водного режиму (виключається транспірація). Але цей захід супроводжується значними втратами гумусу (до 2-3 т/га). В зонах сухих степів та напівпустель основним засобом покращення водного режиму ґрунтів є зрошення. Але його треба проводити так, щоб втрачати якомога менше води в канавах, не викликати іригаційної ерозії, не погіршувати структурного стану і агрофізичних властивостей ґрунтів і, що особливо важливо, - не викликати вторинного засолення та осолонцювання ґрунтів.

Площа зрошуваних ґрунтів в Україні складала 2,6 млн. га (на сьогодні менше 1 млн. га), при цьому вони розташовані практично по всіх

природних зонах і підзонах, але найбільше (84 %) їх зосереджено у степовій зоні. В структурі ґрунтового покриву на зрошуваних землях переважають чорноземні (61 % від загальної площі зрошення) й каштанові (15 %) ґрунти. Зрошення змінило склад ґрунтового покриву і призвело до появи вторинно гідроморфних, засолених та солонцюватих ґрунтів, що викликає необхідність розробки критеріїв, показників та кризового моніторингу стану зрошуваних земель.

### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Джерела надходження води в ґрунт.
2. Стан, форми і категорії води в ґрунті.
3. Водно-фізичні властивості ґрунту
4. Водний режим та водний баланс ґрунтів.
5. Типи водного режиму
6. Регулювання водного режиму ґрунтів.

## **РОЗДІЛ 3.ЗВОЛОЖЕННЯ КОРЕНЕВМІСНОГО ШАРУ ПРОТЯГОМ ВЕГЕТАЦІЇ РОСЛИН**

Порівняємо умови вологозабезпеченості вирощування сільськогосподарських культур в Україні, використовуючи для цього нові критерії, а саме просторовий і часовий дефіцити. Під просторовим дефіцитом вологозабезпеченості мається на увазі градієнт падіння вмісту продуктивної вологи в ґрунті в мм на кожні 100 км у напрямку із західних провінцій, де він близький до нуля, на схід і на південь. Під часовим дефіцитом – градієнт посилення дефіциту вологи від весни (сівба і поява сходів ярих культур), коли він мінімальний або відсутній, до наступних фаз розвитку культури, коли він звичайно зростає. Одиниця виміру часового дефіцит зволоження – мм/місяць. Здається, просторовий і часовий дефіцит зволоження – об’єктивна міра рівня зволоження, яка може знайти застосування при оцінюванні ґрунту для цілей інвестування, або як поправний коефіцієнт у бонітуванні чи обрахуванні грошової вартості земельної ділянки. Адже зволоження – один з найважливіших чинників родючості, який вирішальним чином впливає на врожай сільськогосподарських культур. Крім того, здобуті параметри обох дефіцитів можуть бути використані для коригування традиційних зон вирощування культур або обґрунтування поширення вологозберезувальних технологій.

Для обґрунтування висновків використаємо середньобагаторічні дані гідрометеорологічної служби. Спостереженнями було охоплено всі ґрунтові провінції згідно природно-сільськогосподарського районування, всього 138 точок, у тому числі з озимою пшеницею - 70, ячменем – 52, цукровими буряками – 16. З наявних даних вибрано виміри зволоження для шарів ґрунту 0-20 см (фаза сівба–поява сходів) і 0-100 см (формування генеративних органів). За оптимальний рівень зволоження обрано параметри 40 і 150 мм продуктивної вологи відповідно. У наступні фази оптимальний рівень зволоження знижений до 80-100 мм у шарі 0-100 см.

Озима пшениця – достатньо вимоглива до вологи культура (транспіраційний коефіцієнт для нових високоврожайних сортів, як правило, більше 500). Навіть у Поліссі (Західна і Правобережна провінції) на дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранскладу вміст продуктивної вологи в шарі 0-20 см не перевищує потрібної кількості. Дефіцит зволоження тут відчувається протягом наступних фаз вегетації аж до її зупинення (рис. 3.1).

Аналогічна ситуація восени і у шарі 0-100 см – вологи менше ніж потрібно (рис.3.2). Ситуація змінюється весною. Починаючи з фази колосіння кількість вологи перевищує потребу аж до воскової стиглості. Саме в цей період проявляється нестійкість багатьох сучасних сортів до перезволоження, особливо у нижній частині кореневого шару. Навіть короткочасне затоплення, оглеєння, нестача повітря, кисла реакція ґрунтового розчину (вже менше 5,6) негативно відбивається на стані озимої пшениці. Тому Полісся, хоча і відноситься до зони, де рекомендується сіяти цю культуру (Наукові основи..., 2004) не може вважатися оптимальною зоною. Тут недоцільно розширювати площі сівби цієї культури, а віддати перевагу традиційним поліським культурам – багаторічним травам, картоплі, льону, житу.

У Лісостепу і особливо в Степу умови зволоження для озимої пшениці незадовільні. За винятком короткого періоду весною, коли ця культура не зазнає нестачі вологи, решту вегетації вона перебуває в умовах недостатнього водного режиму. Про це свідчать дані майже усіх метеостанцій Лісостепу і Степу, і навіть станція Вінниця, яка розташована у відносно більш вологому правобережжі Лісостепу.

Вважаємо, що ми отримали переконливі дані, які пояснюють причини великої різниці між задекларованою селекціонерами високою продуктивністю нових сортів озимої пшениці і фактичними врожайми. Зрозуміло, що використання сприятливого попередника, вологозберезувального способу обробітку, знищення бур'янів і ефективна

боротьба із хворобами здатні значно підвищити врожай. Але, на жаль, висока технологія не здатна усунути нестачу вологи. Здобуті нами дані доводять високий ризик вирощування озимої пшениці в Україні. Зменшити ризик можна, лише максимально зосередивши площі вирощування цієї культури в Лісостепу і північному Степу, а у південному сухому Степу – винятково на зрошуваних землях.

Ячмінь – порівняно з озимою пшеницею менш вимоглива до зволоження культура (транспіраційний коефіцієнт значно менше 400). Через цю причину ситуація з вологозабезпеченістю ячменю на значних просторах Полісся і Лісостепу більш сприятлива.

Сприятливий режим зволоження в шарі 0-20 см зберігається до формування 3-го листка, кущення і навіть до виходу у трубку на більшій частині Полісся і Лісостепу (рис.3.3). Далі завдяки глибокій розгалуженій кореневій системі верхня частина кореневого шару швидко пересихає і настає гостра нестача вологи. Особливо помітні ознаки нестачі вологи в зоні сухого Степу. Ячмінь – культура, яку неохоче вирощують на зрошувальних землях. Тим не менш хоча б один полив у кінці травня явно був би дуже корисним для цієї культури.

Явно контрастує із зволоженням верхнього шару вологість у більш глибоких шарах (рис.3.4). Повсюдно у Лісостепу і Степу вологи тут набагато менше, ніж потрібно. Це не тільки не сприяє одержанню високого врожаю, але й понижує адаптивні можливості ячменю до нестачі вологи, які якраз і проявляються у можливості коренів забезпечувати рослину вологою з більш глибоких шарів, коли верхній шар виявляється пересушеним.

Ячмінь, як правило, своєчасно проходить фази розвитку і вважається скоростиглою культурою. Тому наявність достатньої кількості вологи створює передумови для розширення посівів цієї культури. На жаль, через невеликий попит на світовому ринку останніми роками значення цієї культури недооцінено. Однак, враховуючи безспірні переваги ячменю як

джерела концентрованих кормів для свинарства і птахівництва і необхідність відродження цих галузей тваринництва в Україні, слід більше уваги приділити цій культурі.

Мінімізація ризику при вирощуванні ячменю може бути досягнута шляхом припустимого насичення сівозмін у регіонах вирощування озимої пшениці, а також у суміжних регіонах – на південь, схід і південний схід, головним чином у межах поліської, лісостепової і степової зон.

Цукрові буряки ще більш вимогливі до вологи, тому, зокрема, ця культура не вирощується там, де річна сума опадів менша 500 мм. Навіть в умовах західного Лісостепу, де, як вважається, складаються оптимальні умови зволоження для цукрових буряків, уже під час сходів відзначається невелика нестача вологи. Ще більша нестача зволоження на лівобережжі - і в Лісостепу, і в Степу (рис.3.5).

Дефіцит вологи зростає у шарі 0-100 см, досягаючи, наприклад, у північному Лівобережному Степу, 100 мм (рис.3.6).

Оптимальними або близькими до оптимальних умовами зволоження для цукрових буряків слід визнати лише провінції західного і правобережного Лісостепу. Саме тут і розміщені найбільші площі цієї культури. Сприятлива також територія, яку віднесено до Малого Лісостепу, у межах Рівненської і Волинської областей. При виборі площ під цю культуру в інших регіонах слід знати, що умови зволоження там частіше не відповідають вимогам цукрових буряків, особливо у другу половину вегетації, коли накопичується цукор у коренеплодах і тому вихід цукру в Україні навіть у кращих агротехнічних умовах поступається аналогічним показникам в Угорщині і Німеччині.

Як видно з рисунків, дефіцит вологи відзначається повсюдно, а надлишок скоріше є винятком, ніж правилом.



**Рис. 3.1. Дефіцит (-) або надлишок (+) зволоження (мм) при вирощуванні озимої пшениці, шар 0-20 см.**

Шифри провінцій в табл. 3.2. В границях провінцій цифрами позначено дефіцит або надлишок вологи за фазами розвитку культур: 1-а – сівба, 2-а – сходи, 3-я – колосіння, 4-а – воскова стиглість. Стрілками позначено вектори нарощування дефіциту.



**Рис. 3.2. Так само, шар 0-100 см**



Рис. 3.3. Так само, ячмінь, шар 0-20 см



Рис. 3. 4. Так само, 0-100 см



**Рис. 3.5. Так само, цукрові буряки, шар 0-20 см**



**Рис.3.6. Так само, 0-100 см**

Використовуючи просторові і часові критерії вологозабезпеченості провідних сільськогосподарських культур, що вирощуються в Україні, можна виділити кращі, середні і гірші території, тобто, класифікувати їх за,

мабуть, найбільш агрономічно важливим критерієм. Для озимої пшениці і ячменю кращими за зволоженням є поліські і західно-лісостепові провінції. Для цукрових буряків – приблизно ті самі провінції, але в Поліссі тільки південні частини зони. На цих територіях формується оптимальний режим зволоження на початку вегетації, до того і у подальшому дефіцит, якщо і спостерігається, то він мінімальний.

На схід і південь умови вологозабезпеченості поступово погіршуються – понижується загальна сума опадів за рік і вегетаційний період і відповідно запас води в кореновому шарі. Характерні зміни зазнає часовий дефіцит зволоження, орієнтовні параметри якого для деяких ґрунтових провінцій наведено у табл.3.1.

Таблиця 3.1.

**Часовий градієнт підсилення дефіциту зволоження під час вегетації культур (мм/місяць)**

<b>Зона і провінція ПСХР</b>	<b>Озима пшениця, ячмінь</b>	<b>Цукрові буряки</b>
Полісся	0	2
ЛС Правобережна	0,5	3
ЛС Лівобережна	15	10

Просторовий дефіцит зволоження розрахований нами в двох напрямках – з півночі на південь і із заходу на схід, зростає приблизно на 8-10 мм на кожні 100 км. Здається особливо чутливим просторовий дефіцит до цукрових буряків, що, безумовно відбивається на пониженні врожаю і його якості на Лівобережному Лісостепу порівняно із західною і правобережною провінціями цієї зони.

Узагальнена оцінка умов вологозабезпеченості для вирощування озимої пшениці, ячменю і цукрових буряків демонструється в табл. 3.2.

**Оцінка умов вологозабезпеченості в ґрунтових провінціях  
України**

<b>Оцінка вологозабезпеченості</b>	<b>Провінції ПСХР</b>
Сприятлива	Полісся західне (П-1); П. Правобережне (П-2); П. Лівобережне (П-3); Лісостеп Західна (ЛС-1); ЛС. Правобережна (ЛС-2)
Середня	ЛС. Лівобережна (ЛС-3); С. Придунайська (С-1); С. Правобережна (С-2); С. Лівобережна (С-3); Степ Посушливий, Придунайська (СП-1)
Незадовільна	СП. Правобережна (СП-2); СП. Лівобережна (СП-3); СП, Північно-Кримська (СП-4); Степ Сухий, Присивашська (СС-4)

Диференціація провінцій за умовами вологозабезпеченості виявилась співставною з картами часткових бонітетів озимої пшениці, ячменю і цукрових буряків і виробничим показниками врожаїв цих культур. Частка земельних ділянок з найбільш високими бонітетами і відповідно врожаєм була вищою там, де умови вологозабезпеченості сприятливі і середні. До того ж співпадіння було кращим в період 1992-2002 рр., тобто, у кризові роки, коли рівень застосування добрив і хімічних засобів захисту посівів був мінімальним, а участь природної родючості (у тому числі чинника зволоження) у врожаєх – максимальною.

Оцінюючи умови зволоження при вирощуванні озимої пшениці, ячменю і цукрових буряків в Україні, слід з жалем визнати, що тільки в правобережно-лісостепових і поліських провінціях умови близькі до потрібного рівня. На всіх інших територіях у тій чи іншій мірі відчувається нестача вологи. І навіть у регіонах з традиційним домінуванням цих культур у структурі посівів (Лівобережний Лісостеп і Північний Степ) вологи менше ніж вимагають ці культури для нормального функціонування. Особливо велика нестача вологи відмічається в зоні південного Степу. Інакше кажучи, провідні сільськогосподарські культури

країни проходять основні фази свого розвитку і особливо фазу формування генеративних органів за нестачі вологи. Це пояснює переважно невисокі врожаї цих культур. І це має очевидні наслідки для агротехнологій, які потребують удосконалення перш за все у напрямку вологозбереження і економних витрат вологи. Це стосується усіх елементів технології – і селекції, і обробітку, і утримання поля в чистоті, і, звичайно, розвитку зрошення. Необхідність в останньому очевидна на значних просторах Лівобережного Лісостепу и усього Степу.

Враховуючи неврегульованість водного режиму на значній території орних земель країни, цілком зрозуміла велика увага, яка у недавні роки приділялася розвитку гідротехнічних (особливо зрошувальних) меліорацій і зовсім не логічна і не виправдана різка зміна відношення до цього землеробського аспекту в останні роки. Здобуті нами дані про різницю між реальною величиною зволоження і потребами рослин до вологи в критичні фази розвитку з неспростовністю доводять необхідність розвитку зрошення. Особливо необхідний цей захід в Степу і Сухому Степу, де дефіцит зволоження значний. Також важливий він на Лівобережному Лісостепу.

Крім того, з викладеного треба зробити ще один очевидний висновок про доцільність зміщення на захід зон вирощування озимої пшениці. На жаль, сьогодні сприятливий потенціал західно-лісостепових і поліських провінцій в повній мірі не використовується. Традиційно склалося, що озима пшениця домінує в Лівобережному Лісостепу і Степу, у Дніпропетровській, Кіровоградській, Харківській, Полтавській, Одеській, Запорізькій областях, а на зрошенні – в Херсонській, Миколаївській областях і в Криму. В західно-лісостепових і поліських областях менше площ під цією культурою, менше вносять добрив і взагалі нижче культура землеробства. Виникає парадоксальна картина. В одному випадку потенціал культури не реалізується за об'єктивними причинами, у другому – за суб'єктивними причинами, а в результаті - недобори врожаїв і

неконкурентоспроможна аграрна економіка.

### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Умови вологозабезпеченості та їх оцінка при вирощуванні сільськогосподарських культур в Україні
2. Дефіцит або надлишок зволоження при виробництві основних сільськогосподарських культур
3. Часовий градієнт підсилення дефіциту зволоження під час вегетації культур

## РОЗДІЛ 4. ПОВІТРЯ В ГРУНТІ

Повітря в ґрунті є його невід'ємним компонентом, зосередженим у поровому просторі (шпарах) і представленим газовою сумішшю  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  (табл. 4.1) з домішкою при анаеробних процесах  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ . Повітря, не менш важливе за воду, на відміну від неї є мобільною частиною ґрунту, надзвичайний динамізм якої щонайчіткіше індикує еколого-біогеохімічну ритміку ґрунтоутворення. Кількість і склад ґрунтового повітря суттєво впливають на розвиток та функціонування рослин і мікроорганізмів, на розчинність і профільну міграцію хімічних сполук у складі ґрунтових розчинів та на інтенсивність і спрямування ґрунтоутворних процесів. Як поглинач ґрунт завжди вбирає атмосферні гази, у тому числі і промислові токсичні газові викиди, беручи участь у пурифікації біосфери. Цим пояснюється значний інтерес до вивчення ґрунтового повітря.

Таблиця 4.1.

**Склад ґрунтового й атмосферного повітря, об'ємних %**

Склад повітря	Атмосферного	Ґрунтового
Азот	78	78 – 80
Кисень	21	0 – 20
Вуглекислий газ	0,03	0,1 – 15

Переважає більшість рослин, передусім культурних, не можуть, як і тварини, існувати без постійного притоку кисню (оптимум — 20 %, мінімум 0,5-2,5 – 5,0 %) до їх коріння за одночасного виведення з ґрунту вуглекислого газу, при вмісті якого понад 2-3 % рослини пригнічуються. Ізольований від атмосферного повітря ґрунт повністю витрачає свій кисень усього через кілька діб. Отже, ґрунтового повітря забезпечує живі організми киснем лише за умови постійного обміну (аерація, газообмін) з атмосферним повітрям, яке є природною сумішшю (гомосферою) двох макрогазів — інертного  $N_2$  і спонтанно реактивного  $O_2$  ( $78,084 + 20,946 =$

99,03 % об'ємних), неодмінно розбавлених інертним Ar (0,934 %) з його аналогами (Ne, Kr, Xe) та нестабільними  $\text{H}_2$  ( $\text{H}_2 + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{CH}_4$  ( $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) і  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\text{N}_2\text{O} = 2\text{N}_2 + \text{O}_2$ ). Правильніше говорити про чотири компоненти сухого повітря (азот + кисень + аргон + вуглекислий газ = 99,99) або п'ять — завжди зволоженого водяною парою повітря. У ньому також постійно є аерозолі, складені твердими та зрідженими частинками біогенного, техногенного, гідрогенного (з моря — хлориди, броміди, йодиди), вулканогенного та іншого походження. Газообмін сприяє вирівнюванню складу атмосферного та вільного ґрунтового повітря, але про повний їх збіг не може бути й мови. На відміну від гомогенізованого складу атмосфери склад ґрунтового повітря є вкрай динамічним, особливо за вмістом кисню та вуглекислого газу внаслідок інтенсивного споживання кисню та не менш інтенсивного продукування  $\text{CO}_2$ . Процеси коригуються швидкістю аерації — в добре аерованих оструктурених ґрунтах з оптимальними агрофізичними властивостями вміст  $\text{CO}_2$  в ґрунтовому повітрі впродовж вегетації не перевищує 1 – 2 %, а вміст  $\text{O}_2$  не знижується менше від 18 %. На перезволожених розорюваних ґрунтах важкого гранулометричного складу вміст  $\text{CO}_2$  може перевищувати 4 – 6 %, вміст  $\text{O}_2$  падати нижче від 15 % і навіть зникати з торф'яно-болотних ґрунтів, де при цьому різко підвищується до 20 % і більше концентрація  $\text{CO}_2$ , з'являються  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$  тощо.

Окрім вільного (яке міститься у вивільнених від води порах) у ґрунті є також адсорбоване (див. вище) і розчинене (передусім при зниженій температурі) в ґрунтовому розчині повітря. Особливо добре (1,13 г/л при 10 С) розчиняється  $\text{CO}_2$  (а також аміак, сірководень — 2,5 – 3,3 г/л) на відміну від кисню (всього 0,03 г/л). Насичення ґрунтового розчину  $\text{CO}_2$  відіграє неабияку педохімічну і еколого-біогеохімічну роль. Такий розчин стає агресивним до більшості важкорозчинних карбонатів, передусім кальциту  $\text{CaCO}_3$ , доломіту  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , магнезиту  $\text{MgCO}_3$ , сидериту  $\text{FeCO}_3$ , малахіту  $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ , які стають при цьому міграційно

активними як в межах ґрунтового профілю, так і в парагенетично поєднаних ландшафтах загалом. Винос (вилуговування) карбонатів під дією підвищеної концентрації CO<sub>2</sub> в ґрунтовому повітрі, а отже, і в ґрунтовому розчині отримав назву декарбонатизації, зумовленої зсувом ліворуч відомої геохімічної рівноваги:



Цей процес є значно поширеним в активно зрошуваних ґрунтах. Найбільш екоінформативним показником біологічної активності ґрунтів є так зване «дихання ґрунтів» (Дк), яке характеризується швидкістю виділення CO<sub>2</sub> за одиницю часу з одиниці поверхні. У процесах з нормальним кисневим диханням ґрунту відбувається точно нормований еквівалентний обмін O<sub>2</sub> на CO<sub>2</sub> (Дк = CCO<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> = 1), але в багатьох випадках спостерігається відхилення в той чи інший бік від нормального обміну — при розкладанні ліпідів (жирів) Дк знижується до 0,7, при розчиненні CO<sub>2</sub> та зв'язуванні його в гідрокарбонати — до 0,2, а при розкладі киснезбагачених речовин Дк стає більшим від одиниці. Загалом його інтенсивність коливається від 0,01 до 1,5 г/м<sup>2</sup> за 1 год і залежить не лише від суто ґрунтових або погодних умов, а й передусім від фізіобіохімічних особливостей фіто- та мікробіоценозів, фенофази рослин, їх густоти тощо. «Дихання ґрунту» характеризує біологічну активність ґрунтово-ценотичних екосистем у кожен конкретний період часу і його екстремуми можуть бути екологічними індикаторами спрямованості найважливіших для них процесів.

Мікрогази (N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, меркаптани, терпени, спирти, ефіри, пара органічних і мінеральних кислот) надходять до ґрунтового повітря внаслідок метаболічних процесів мікроорганізмів, трансформації органічних речовин, добрив, пестицидів, а також техногенним шляхом. Концентрація мікрогазів і летких компонентів зазвичай не перевищує 1•(10<sup>-9</sup>...10<sup>-12</sup>) %, але цього може бути цілком досить, для того щоб загальмувати, а то й паралізувати

повністю біологічні процеси в ґрунтах.

Кисень забезпечує перебіг усіх аеробних ґрунтових процесів, жоден з яких не відбувається поза його участю. Тільки за достатнього вмісту кисню в ґрунтовому повітрі активно розвиваються корені, трансформуються в доступні форми елементи живлення рослин, поглинається волога, здійснюються мікробіологічні та біохімічні (у тому числі ферментативні) процеси. Дефіцит кисню спричинює різке зниження ОВП, посилює анаеробіозис, призводить до утворення токсичних для рослин редукованих сполук, погіршуючи цим більшість показників родючості (табл. 4.2).

Нормальний перебіг аеробних процесів у гумусовому горизонті забезпечується за оптимальних параметрів температури і вологості при вмісті не менше 2,5 – 5,0% кисню в ґрунтовому повітрі (інакше створюються передумови для анаеробних процесів). Температура і вологість ґрунту істотно корегують ці параметри — скажімо, дефіцит вологи і низькі температури пригніблюють біологічні процеси, значно знижуючи цим потребу в кисні.

Не менш важливим для ґрунтогенезу є вуглекислий газ, екологічна роль якого визначається насамперед тим, що в його присутності стають розчинними, а отже доступнішими для рослин багато сполук, активізуються міграційні потоки, але основне —  $\text{CO}_2$  є головним учасником фотосинтезу. Значну частину (до 70%) вуглекислоти для його забезпечення рослини споживають із ґрунту. Також очевидною є й негативна роль вуглекислоти — в підвищених концентраціях вона пригнічує проростання насіння, отже знижує врожай тощо.

**Вплив аеро- та анаеробіозису на властивості орного шару  
дерново-підзолистого ґрунту,  
мг/кг (Fe, Mn у 0,1 н. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 групи, за Чіріковим)**

Варіанти	pH KCl	rH <sub>2</sub>	FeO	MnO	N NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Анаеробіози, 60 % ПВ	7,5	17,5	153	760	0	3,8
Анаеробіозис, 120 % ПВ	6,6	15,0	2420	1250	0	2,6
Аеробіозис, 60 % ПВ	5,2	29,0	22	245	128	6,1

Співвідношення CO<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> в профілях різних ґрунтів дуже варіює. У недиференційованих ґрунтах воно є монотонним, а в диференційованих мінливим — в ілювіальних горизонтах, у глибоких шарах із наближенням до підґрунтових вод вміст вуглекислого газу зростає, а кисню — падає.

Основними джерелами ґрунтового повітря є атмосферне повітря і гази, продуковані в ґрунті різноманітними біологічними процесами, а гази з глибин літосфери відіграють тут значно меншу роль. У ґрунт регулярно потрапляють також гази, розчинені в метеорній (атмосферній) воді. Анаеробні процеси постачають до ґрунтового повітря CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub> та інші гази метанової групи, аеробні — переважно CO<sub>2</sub>. Іноді до ґрунту проникають навіть вуглеводневі (паливні) гази, які надходять туди з нафтових родовищ, а також гази болотного походження з морських, озерних, річкових мулів, гази, утворювані при численних хімічних реакціях (при переході бікарбонатів у карбонати, процесах окиснення-відновлювання тощо).

Поглинання ґрунтового повітря твердими фазами ґрунту, як вже зазначалося, відбувається згідно із законами неполярної (молекулярної) адсорбції. При цьому позитивна адсорбція газів твердою поверхнею ґрунту посилюється зі збільшенням тиску газів (концентрації) і гальмується з підвищенням температури. Гази адсорбуються ґрунтом у такій послідовності: H<sub>2</sub> < N<sub>2</sub> < O<sub>2</sub> < CO<sub>2</sub> < NH<sub>3</sub> < H<sub>2</sub>O. Цей ряд показує, що основні гази повітря — кисень і азот — адсорбуються твердими фазами

грунту слабше, ніж пароподібна (і рідка) волога, яка буквально витісняє адсорбовані поверхнею ґрунту основні гази повітря. Із цієї ж причини максимально адсорбують гази сухі ґрунти, у вологих ця здатність слабшає, досягаючи майже нуля в перезволожених ґрунтах.

Повітряний режим ґрунту визначається повітроємністю і повітропроникністю, а також сукупністю всіх процесів надходження повітря до ґрунту, його пересування і газообміну між ґрунтом і атмосферою. Середній вміст  $O_2$  (20 %) і  $CO_2$  (0,2 %) у ґрунті постійно змінюється через порушення процесів аерації. Так, після сильного дощу або поливу кількість  $CO_2$  в ґрунтовому повітрі суттєво збільшується, а  $O_2$ , навпаки, зменшується. Це може ненадовго (на дві – три доби) пригнічувати біологічні процеси у ґрунтах, після чого характерний для певного ґрунту відносно постійний склад повітря завдяки газообміну відновлюється.

Газообмін між ґрунтом і атмосферою контролюють:

- дифузія газів — основний механізм газообміну, тобто їх перетікання з місць підвищеного парціального тиску до місць зниженого;

- зміна барометричного тиску — його підвищення посилює надходження повітря до ґрунту, а зменшення сприяє емісії газів з ґрунту;

- зміна температури — охолодження ґрунту супроводжується проникненням в нього атмосферного повітря, нагрівання — втратами;

- атмосферні опади, які водночас збагачують ґрунтове повітря киснем, зменшуючи при цьому кількість вуглекислоти у ньому;

- вітер, що сприяє перемішуванню атмосферного повітря з ґрунтовим;

- гранулометричний склад, мікро- і макроструктура — чим легшими є ґрунти і чим більш оструктуреними є ґрунти важкого гранулометричного складу, тим інтенсивнішим стає газообмін;

- вологість ґрунтів — з підвищенням вологості (особливо НВ) погіршується газообмін, а при заповненні шпар вологою газообмін взагалі припиняється.

Унаслідок газообміну в ґрунт проникають різні кислоти, аміак, солі, органічні сполуки, техногенні викиди, мікроорганізми і навіть космічний пил, що містяться в повітрі. Проте, незважаючи на активний газообмін, вміст азоту у ґрунтовому повітрі завжди відрізняється від атмосферного, оскільки він постійно зв'язується азофіксуючими мікроорганізмами, в результаті чого його вміст у ґрунтовому повітрі тенденційно знижується. Зате денітрифікація, яка супроводжує розпад білків та інших азотовмісних сполук, сприяє підвищенню вмісту азоту в ґрунтовому повітрі.

Особливо сильно впливають на склад ґрунтового повітря волога і температура ґрунту. Зі збільшенням вологості зменшується повітроємність, порушується система повітропровідних шарів, а разом з нею — газообмін і відведення газів з ґрунту. Вологість і температура, у свою чергу, визначають інтенсивність біохімічних (ферментативних) перетворень, а отже, інтенсивність споживання кисню і продукування вуглекислого газу. За оптимальної вологості і температури біологічні процеси виражені максимально, тому концентрація кисню мінімальна, а вуглекислого газу — максимальна. В разі відхилення вологості і температури від оптимуму концентрації газів змінюються ( $O_2$  — збільшуються,  $CO_2$  — зменшуються), визначаючи цим характер повітряного режиму ґрунтів у річному, сезонному циклах, після дощу, посухи, зрошення тощо.

Ущільнення ґрунту, погіршуючи аерацію, призводить до збагачення на тривалий час ґрунтового повітря вуглекислим газом, що оцінюється негативно.

У вологі роки у ґрунтовому повітрі спостерігається накопичення максимальних кількостей  $CO_2$ . Під деревною рослинністю ґрунтового повітря містить вуглекислого газу також більше, ніж у полі, зайнятому сільськогосподарськими культурами.

Постійно перезволожені ґрунти мають особливо високий (1–2, навіть 7 %) вміст вуглекислого газу, а кисню — знижений до 19 і навіть

13 – 14 % (ці критичні значення є характерними для оглєсних ґрунтів).

Виходячи з описаних закономірностей, вибирають заходи регулювання повітряного режиму ґрунтів. Будь-який обробіток (особливо глибокий полицевий з інтенсивним розпушуванням ґрунту) сприяє поліпшенню аерації, а водночас — газообміну, поглинанню кисню, і за оптимальних параметрів вологості і температури — активному продукуванню вуглекислого газу. Цьому сприяють осушення, а також усі заходи щодо поліпшення фізичного стану й оструктурування ґрунтів.

Угноєння також коригує склад ґрунтового повітря, але ненадовго — через активний газообмін ґрунтового та атмосферного повітря зі швидким зрівноважуванням його складу. Із цієї ж причини гомогенізується склад повітря в тропосфері (до 18 км) та приземному її шарі — внаслідок вертикальних і горизонтальних конвекційних перемішувань повітря.

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Відмінності між ґрунтовим і атмосферним повітрям.
2. Склад та види ґрунтового повітря.
3. Механізми газообміну між ґрунтом і атмосферою
4. Повітряні властивості та повітряний режим ґрунтів.

## **РОДІЛ 5. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОРНИХ ҐРУНТІВ УКРАЇНИ І ЇХ ТРАНСФОРМАЦІЯ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ**

### **5.1. Типологія і нормативи деградацій ґрунтів**

Термін «деградація» походить від латинського слова «degradatio», що буквально означає «зниження» і є сукупністю природних і антропогенних процесів, що приводять до зміни функцій ґрунтів, кількісного і якісного погіршення їхнього складу, властивостей, режимів і природно-господарської цінності (А.Л. Іванов і ін., 2013).

Уявлення про небезпечний стан ґрунтового покриву України через розповсюдженість процесів ерозії, втрати гумусу, інші антропогенні несприятливі перетворення ґрунту давно відомі. Разом з тим у країні за останні роки практично не впроваджується заходів, щоб стримувати деградаційні процеси. Скоріше за все негативні зміни ґрунтів в Україні недооцінюються. Натомість домінує інша думка – про невичерпні можливості й родючість українських ґрунтів. За цих умов потрібна об'єктивна неупереджена оцінка стану ґрунтів.

Отже, актуальним завданням є розробка типології небезпечних явищ, що вражають ґрунтовий покрив України, їхніх критеріїв, діагностики, класифікації, а також попередніх оцінок розповсюдженості. Крім того, важливо окреслити передумови виникнення негативних явищ і визначити чинники, що сприяють або стримують їхній розвиток.

Небезпечні (кризові) явища – це виражений характер деградованості ґрунту, коли інтенсивність ґрунторуйнівних процесів перевищує інтенсивність ґрунтоутворення або ґрунтовідновлення. Отже, визначити кризову ситуацію можна через типізацію і параметризацію процесів деградації ґрунту. Ґрунт, у якого необоротно порушено екологічні функції і що протягом тривалого часу (за свідченням van G. W. J. Lynden, 1997, не менше 15 років), відзначався пониженою продуктивністю

сільськогосподарських культур (порівняно з еталоном), слід визнати деградованим. Найчастіше ґрунт стає деградованим за умов надмірних антропогенних навантажень – механічних, хімічних, гідрологічних, мішаних тощо.

Оцінюючи схильність земель до виникнення кризових явищ, слід підкреслити значимість природних і соціально-економічних передумов. Серед природних передумов – властивості ґрунту, які можуть протистояти чи сприяти кризовим явищам. Якщо ґрунт багатий на гумус, мінеральну дрібнодисперсну частину, має повноцінний мікробіологічний пул, сприятливі фізико-хімічні та хімічні параметри, він здатний активно протистояти негативному антропогенному впливу. Такий ґрунт має помітно більший потенціал відновлення. Навпаки, ґрунт, бідний на органічну і мінеральну дрібнодисперсну частини, такий, що має інші несприятливі фізико-хімічні і біологічні властивості, швидше і необоротно змінюється.

Соціально-економічні чинники, а саме:

- інтенсивність антропогенного навантаження, якість виробництва (“чисті” чи “брудні” підприємства і технології);
- наявність нормативно-правових документів та їх дієвість, освіченість населення і загалом економічний рівень країни – все це важливі аргументи, що протистоять (або сприяють) деградаціям і зменшують (чи збільшують) ризик кризових явищ.

За негативним процесом, що домінує, кризові явища ділять на такі групи:

- фізична деградація – комплекс процесів, що викликає руйнування, переміщення, відкладення частинок та маси ґрунту або внутрішнє їхнє перегрупування і спрощення будови ґрунту;
- хімічна деградація – процеси надходження до ґрунту чи міграції у ґрунті хімічних речовин техногенного або природного походження у твердому, газоподібному і рідкому стані;

- фізико-хімічна деградація – процеси, пов’язані з обміном іонів у колоїдній системі або зміною окисно-відновного стану ґрунту;

- біологічна деградація – негативні зміни у кількості і складі мікроорганізмів, що спричинюють дегуміфікацію, зміну якості гумусу, накопичення різноманітних токсинів мікробіологічного походження (ґрунтовтома).

- група геоєкоаномальних явищ (зсуви, карсти, селі тощо), включаючи підтоплення.

Кризові явища доцільно розрізняти також за розповсюдженістю – суцільні: (на всій площі, площі сільгоспугідь, орній площі), регіональні (у межах окремих масивів, ґрунтово-кліматичних зон, зон вирощування культур, адміністративних областей), локальні (навколо підприємств, транспортних магістралей, окремих меліоративних систем, населених пунктів) – табл. 5.1. 1.

Таблиця 5.1.1.

**Експертна оцінка розповсюдження деградаційних процесів  
(на орних землях України)**

<b>Суцільне</b>	<b>Регіональне (окремі масиви)</b>	<b>Локальне (імпактне)</b>
Дегуміфікація (включаючи спрацювання торф’яних ґрунтів)	Ерозія Забруднення (радіонуклідами)	Забруднення (важкими металами) Замулення
Знеструктурення	Кіркоутворення	Намивання
Переущільнення (орного шару у рівноважному стані і підорного шару)	Брилоутворення Осолонцювання Засолення Підкислення Підлуження	Алюмінізація Озалізнення Окарбоначення ґрунтовтома Геоєкоаномалії

Деградаційні явища слід розрізняти за швидкістю змін, які можуть бути бурхливими (наслідки аварій, гідротехнічні катастрофи, геоєкоаномалії), швидкими (ерозія) або повільними (втрати гумусу, ущільнення тощо).

За екологічними наслідками - помірні (вихідний стан ґрунту може

бути відновлено); значні (земельні ресурси необоротно зруйновано, сформовано антропогенно перетворені ґрунти з новою якістю і властивостями); побічні (відчувається суттєвий вплив на сусідні компоненти біосфери – водні ресурси, повітря, літосферу).

За економічними наслідками, що може проявлятися у зменшенні кількості земельних ресурсів, погіршенні їхньої якості, ускладненні і зниженні ефективності виробництва, додаткових витратах на антикризові заходи.

Кризові явища слід розрізнявати за швидкістю змін, які можуть бути бурхливими (наслідки аварій, гідротехнічні катастрофи, геоєкоаномалії), швидкими (ерозія) або повільними (втрати гумусу, ущільнення тощо).

За екологічними наслідками - помірні (вихідний стан ґрунту може бути відновлено); значні (земельні ресурси необоротно зруйновано, сформовано антропогенно перетворені ґрунти з новою якістю і властивостями); побічні (відчувається суттєвий вплив на сусідні компоненти біосфери – водні ресурси, повітря, літосферу).

За економічними наслідками, що може проявлятися у зменшенні кількості земельних ресурсів, погіршенні їхньої якості, ускладненні і зниженні ефективності виробництва, додаткових витратах на антикризові заходи.

Експертне оцінювання кризових явищ в Україні подано у табл. 5.1.2.

Діагностичні критерії деградації опрацьовані співробітниками ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» і іншими авторами наведені у таблиці 5.1.3.

Деградованим потрібно визнати ґрунт, властивості якого необоротно погіршені в порівнянні із природним аналогом, цілиною або перелогом, що не розорювали тривалий час (або ренатуралізованим варіантом того ж ґрунту). За неможливості отримати такі порівняльні дані прийнятний підхід (але тільки для орієнтовного оцінювання), коли як нульова оцінка використовуються середні показники для того ж орного ґрунту (модальні

параметри), що перебуває в подібних природно-кліматичних і господарських умовах.

Таблиця 5.1.2.

**Основні кількісні і якісні оцінки кризових явищ у ґрунтовому покриві України**

Критерії	Тип деградації								
	Фізична			Хімічна		Фізико -хімічна		Біологічна	Геоеконаномалії (сумарно)
	Негативні зміни властивостей	Водна ерозія	Вітрова ерозія	Забруднення		Підкислення	Осолонцювання	Дегуміфікація мінеральних і органічних ґрунтів	
				Радіонуклідами	Важкими металами				
Розповсюдженість, % площі ріллі	35	6-7	2-3	1	5 (площі тери-	<1	<2	10	
Схильність до подальшого розвитку деградації, бали <sup>1</sup>	▼▼▼	▼▼	▼	▼	▼▼	▼	▼▼	▼▼	▼
Економічні наслідки (втрати) <sup>2</sup>	•	•••	••	••	•	•	•	•	•
Екологічні наслідки <sup>3</sup>	△△	△△△	△△	△△	△	△	△	△△	△
Швидкість деградації <sup>4</sup>	□	□□	□□	□□□	□□	□	□	□	□□□

1 ▼ - найменша; ▼▼ - помірна; ▼▼▼ - найбільша;

2 • - < 0,5; •• - 0,5-1,0; ••• - > 1,0 млрд грн. у рік

3 △ - помірні; △△ - значні; △△△ - дуже значні; □ - побічні

4 □ - повільно; □□ - швидко; □□□ - дуже швидко.

**Критерії, показники і нормативи деградації орних ґрунтів  
(ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського»)**

Тип деградації	Вид деградації	Показник	Діагностичні параметри
1	2	3	4
Фізична	Знеструктурення	Фактор дисперсності	8-10 і вище
	Переуцільнення	Рівноважна щільність будови орного шару, г/см <sup>3</sup>	>1,4
	-	Індекс фізичного стану (інтегральний), частка від 1	<0,7
	Ерозія водна	Інтенсивність середньорічних втрат ґрунту, т/га	10- 15
		Показник ерозії ґрунтів(визначається залежно від величини поверхневого зливого стоку), %	15-20
	Ерозія вітрова	Перевищення потенційно можливих втрат ґрунту над нормою ерозії з урахуванням періодичності процесів, разів	>50
Повторюваність та інтенсивність посух за періодами вегетації, зниження ГТК		1,5-3,5; 0,2-0,3	
Хімічна	Забруднення радіонуклідами	Cs137i, Кі/км <sup>2</sup> Sr90, Кі/км <sup>2</sup>	5-15 і вище 1-3 і вище
	Забруднення залишками пестицидів	ГДК у ґрунті й у рослинах	1,1-1,5 і вище
	Забруднення важкими металами	ГДК у ґрунті, валові форми ГДК у ґрунті, рухомі форми ГДК у рослинах, валові форми ГДК у рослинах, рухомі форми Кларки, валові форми у ґрунтах	1,1-1,5 і вище 2,0-2,5 і вище 2,0-10,0 і вище 1,1-1,5 і вище 5-6 і вище
Фізико-хімічна	Підкислення (декальцинація)	pHкcl, Δ	0,8-1,0
	Вторинна солонцюватість (за зрошення)	$pNa-0,5pCa$ $\frac{aNa}{\sqrt{aCa}}$ Уміст натрію від суми поглинутих катіонів, %	0,4-0,8 >3,0 6 - 10 і вище
Біологічна	Дегуміфікація мінеральних ґрунтів	Щорічне зменшення вмісту гумусу, %	>1,0
	Спрацювання торфовищ (за	Щорічне зменшення вмісту органічної речовини, т/га	> 20,0

	осушення)		
Геоєкоаномалії	Сейсмічність	Землетрус з інтервалом 10-30 років, бал	7
	Рух земної кори	Підняття чи опускання за рік, мм	6-8
	Селі	Кількість селів у 5-10 років	1
	Осипи	Потужність, см	30
	Вітровали	Кількість у 5-10 років	1
	Мочари	Площа від сільгоспугідь, %	> 10
	Активні зсуви	Площа, що піддається зсуву, %	5 і вище
	Карст	Площа, що піддається карсту, %	7 і вище
	Поди, западини	Площа від сільгоспугідь, %	10-20
	Соляні куполи	Площа сильнозасолених ґрунтів	15
	Підтоплення	Підтоплена площа, %	вище

## 5.2. Причини виникнення і розвитку

Як уже згадувалося, основними причинами деградації є природні і антропогенні чинники, причому перші з них, проявляються, як правило, локально, хоча й можуть мати катастрофічні наслідки (А.Л. Іванов, 2013). Нерідко ті і інші причини діють одночасно, а антропогенні можуть провокувати і прискорювати дію неантропогенних. Наприклад, оранка схилів підсилює процес водної ерозії їхніх ґрунтів, а домінування просапних культур у сівозмінах - мінералізацію гумусу.

Систематизація результатів власних досліджень і аналіз літературних джерел, особливо фундаментальних монографій, підготовлених під керівництвом Г.В. Добровольського (2002) і R. Lal (1998), дозволяють нам звернути увагу на наступні причини деградації орних ґрунтів України як наслідок:

- підвищеної схильності ґрунтів середнього і важкосуглинкового гранскладу, що домінують в країні, до втрати структури через зменшення кількості гумусу і збільшення частки у його складі молодих фракцій, більш підданих мінералізації;
- підвищеної схильності до переущільнення розорюваних ґрунтів через низьку вихідну щільність за обробітку;

– підвищеної схильності до гідрофілізації й знеструктурування (руйнування) при зволоженні через переважно смектитовий (нестійкий) склад мінеральної глинистої частини орних ґрунтів;

– можливої спадної міграції обмінного кальцію з гумусованої частини профілю як результат поступового підкислення удоброваних орних ґрунтів і, як правило, відчутного підвищення їх гідролітичної кислотності унаслідок сучасної системи землекористування.

Не менш важливі практичні аспекти, що виникають через підвищене освоєння (агрономізацію) ґрунтів України, їхню надмірну оранку, перевищення (як правило) рівня припустимого механічного навантаження і взагалі як результат інтенсивних і ненормованих технологій. Не може також не позначатися сучасна система землеробства, що характеризується незбалансованістю і недостатнім застосуванням ґрунтозахисних технологій.

Для гірських регіонів і окремих масивів дуже актуальними є геоеканомалії, які, на жаль, не вивчаються, погано картографуються і майже не враховуються у господарській діяльності.

### **5.3. Поширення деградації**

Поширення деградації на орних землях України. Сьогодні надзвичайно актуальним є виявлення ареалів схильності ґрунтів до фізичної деградації – втрати агрономічно корисної структури, прояви брилистості, розпилення і застосування, насамперед, саме на цих територіях ефективних профілактичних заходів.

Якщо чорнозем типовий і чорнозем звичайний середньосуглинкового гранскладу обробляють у стані фізичної спільності, вихід структур агрономічно корисного розміру (10-0,25 мм) лише ненабагато менше оптимальних параметрів – 60-80 %. Але навіть незначне ущільнення або відхилення від вологості фізичної спільності істотно погіршує якість обробітку.

Утворення брил. На жаль, брилистість ґрунту, що розорюється

давно, стає його майже обов'язковою характеристикою на відміну від цілини, де брил не буває ніколи. Брила являє приклад помилкової агрономічно шкідливої структури. Нагадаємо, що негативний вплив брил очевидний. У брилистій ріллі неможливо створити достатній запас доступної вологи – вона або провалюється в нижні шари ґрунтового профілю або випаровується. Неможливо здійснити якісну сівбу польової культури. Сходи рослин виходять недружніми, а їхній розвиток нерівномірним.

Відразу ж звернемо увагу на те, що майже всі орні ґрунти країни потенційно здатні утворювати брили – грудки більше 10 мм у діаметрі (рис. 5.3.1). Навіть у чорноземних відносно добре гумусованих ґрунтах при проведенні основного обробітку може утворитися до 30 % брил. Відомо (за В.Р. Вільямсом), що така кількість брил здатна погасити всі позитивні властивості структурного ґрунту, однак уже навіть 5 % брил у посівному шарі значно впливають на водно-повітряний режим (особливо в умовах посухи), якість сівби, проростання й наступний розвиток коріння і надземної маси.



**Розподіл орних ґрунтів України за вмістом макроагрегатів більше 10,0 мм (брилистість)**

Оцінка можливої брилистості	Уміст фракції, %	Площа ґрунтів	
		%	млн га
Дуже низька	<10	5,9	1,8
Низька	11-30	71,7	21,5
Середня	31-50	11,0	3,3
Висока	51-70	1,1	0,3
Безструктурні ґрунти	–	9,6	2,9
Немає даних	–	0,8	0,2



**Площі ґрунтів із різним умістом фракцій <math><0,25\text{ mm}</math>**

за структурної аналізу ґрунтів		
Уміст фракцій, %	млн га	%
<math><5</math>	0,5	1,7
5-10	10,1	33,7
10-15	11,4	38,1
15-20	2,1	7,0
>20	2,6	8,8
Безструктурні ґрунти	3,0	9,95
Немає даних	0,2	0,8

**Рис. 5.3.1. Розповсюдження і площі орних ґрунтів України з ризиком прояву брилистості і розпилення**

Анізотропність структури й порового простору. У процесі тривалого впливу на ґрунт ґрунтообробних робочих органів змінюється розмір, форма й поровий простір агрегатів. Якщо ціліні найчастіше властива ізотропна (або близька до неї) будова, за якої властивості ґрунту майже не залежать від напрямку - вектора, то для ріллі характерна анізотропна будова, властивості якої розрізняються залежно від обраного напрямку. Ілюстрацією цього факту служать результати вимірювання ґрунтових агрегатів і порового простору у шліфах, виготовлених у двох орієнтаціях - горизонтальній й вертикальній. Анізотропність будови, як це логічно припустити, обумовлена анізотропністю розмірів структурних грудочок.

За обробітку порушується характерна для цілини стабільність порового простору, зменшується довжина пор одного діаметра. Пори заповнюються мікроагрегатами й дрібнодисперсним неагрегованим матеріалом. В оброблюваному шарі формуються два типи скупчень агрегатів: індивідуальні відособлені й штучно зближені. За обробітку відбувається різке розпушення окремоностей, їхнє руйнування (у шліфі в цій фазі виявляється велика кількість пор і окремих макро- і мікроагрегатів), далі окремості зближаються по вертикальній осі, щільність швидко наростає й формуються макроагрегати. Характерні зміни будови агрегатів

у процесі відновлення рівноважної щільності: зростає їх порядковість внаслідок агрегації неагрегованого матеріалу, поліпшується оформленість (очевидно, у результаті росту корінь і діяльності ґрунтової фауни).

За обробітку різко зростає кількість міжагрегатних пор (звичайно пори розміром 15-20 мк), які навіть за зволоження, яке дорівнює найменшій вологоємності (28-32% від маси ґрунту) не можуть утримати капілярну вологу (розрахунок за формулою Жюрена). Пори такого розміру характеризуються високою вологопровідністю (саме тому усмоктування води на ріллі у перші години спостережень, істотно вище, ніж на цілині). Вода в них не затримується: вона або стікає у нижчі шари ґрунту, або випаровується. Цінність таких пор у забезпеченні рослин водою невелика. Їхня роль зводиться до сприйняття опадів і здійснення процесів газообміну з атмосферою. Якщо виходити з того, що оптимальне співвідношення між- і внутрішньоагрегатних пор повинно наближатися до одиниці (А.Г. Дояренко, 1963), то отримані співвідношення вказують на надлишкову кількість міжагрегатних пор у всіх досліджених чорноземах навіть на цілині, при цьому обробіток ще більше погіршує їхнє співвідношення. Важливо підкреслити, що чим вище порядковість агрегатів, тим більше вони містять внутрішньоагрегатних обводнених пор, де відбувається водно-мінеральне живлення рослин.

У процесі релаксації (відновлення модальної щільності, характерної для цілини) анізотропність зберігається. Безпосередньо після обробітку різко зростає видима пористість у шліфах, причому її розмір у горизонтальному напрямі істотно перевищує розмір за вертикального напрямку. Надалі в міру осідання піднятого плугом шару ґрунту пористість падає, але розходження у видимій пористості у горизонтальному і вертикальному напрямках не зменшуються. Більше того, у давньоорному ґрунті осколки зруйнованих агрегатів накопичуються в горизонтальних порах, кольматуючи їх. У результаті в рівноважному стані орні ґрунтах, що характеризуються підвищеною анізотропністю порівняно із цілиною

(перелогом), мають більш високу варіабельність водно-фізичних властивостей. У той же час вертикальні пори відносно чисті. Саме цими порами пересуваються преференційні (турбулентні, хаотичні) потоки вологи, які можуть проникнути в глиб ґрунту, не взаємодіючи з ним.

Анізотропність досить добре корелює з вологостійкістю ґрунтових агрегатів. Чим вона вища, тим вища рухомість дрібнодисперсної органічної й мінеральної частин ґрунту й нижча вологостійкість агрегатів.

Переуцільнення (нові переуцільнені прошарки, абіотизація агрегатів). Переуцільнення й консолідація - найнебезпечніший наслідок інтенсивного механічного обробітку для ґрунтів України. Незважаючи на те, що з 2007 р. в Україні діє стандарт, що обмежує навантаження на ґрунт, у країні продовжують використовувати машинно-тракторні агрегати (МТА) з неприпустимим питомим тиском. Загроза переуцільнення (щодо вимог більшості ярих культур до посівного шару) існує на 60% ріллі України (рис. 5.3.2). Причиною широкого розвитку цих негативних процесів, крім МТА, є також численні ґрунтові фактори, що сприяють їм, зокрема, переважно суглинковий грансклад, низька вихідна (перед обробіткою) щільність будови й вологість навесні, близька до фізичної стиглості. Через велике число окремих технологічних операцій, виконуваних енергонасиченими тракторами й важкими комбайнами, переуцільнення нерідко проявляється навіть на легких, погано сприйнятливих до ущільнення ґрунтах. Є дані (Переуплотнение..., 1987), що продемонстрували переуцільнення на глибині 1 м, де воно акумулюється й може зберігатися тривалий час. Зафіксовано також нове явище - консолідація, коли ущільненню піддаються агрегати агрономічно корисного розміру. При цьому з них видавлюється продуктивна волога, різко зменшується внутрішньоагрегатна пористість і тим самим погіршується агрономічна цінність ґрунту як середовища перебування коренів рослин.



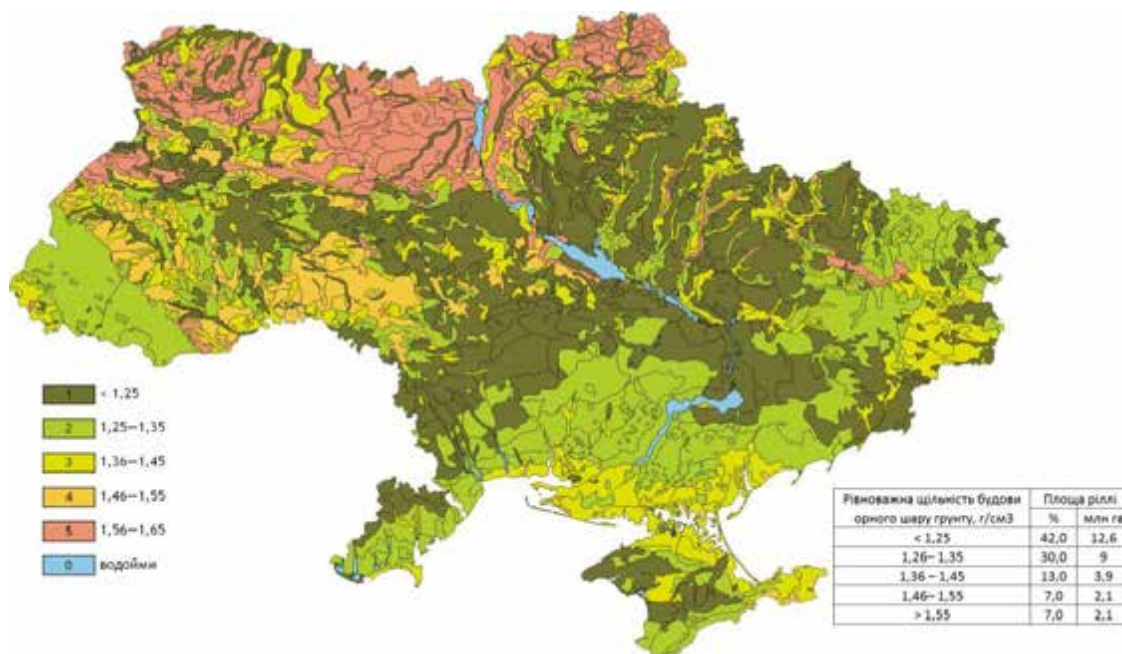
Небезпека переущільнення за обробітку	Площа ґрунтів	
	%	млн га
Відсутня	2,9	0,9
Слабо виражена	12,2	3,7
Помірна	9,3	2,8
Сильно виражена	57,3	17,2
Черезмірно висока	15,5	4,7
Немає даних	2,7	0,8

**Рис. 5.3.2. Площа ґрунтів із різною небезпекою переущільнення**

Факторний аналіз причин, що викликають переущільнення ґрунтів, перевагу віддав конструктивним особливостям ходових систем і кількості проходів МТА по полю (В.В. Медведєв и др., 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 частіше можна побачити на полях МТА зі здвоєними й навіть строєними пневматичними шинами низького тиску. Важливо відзначити, що в країнах з розвиненою 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 на сівбі, внесенні добрив, засобів захисту й збиранні врожаю, що ставить за мету мінімізацію 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 окремо виконувані обробітки за допомогою переважно енергонасичених МТА. Те й інше вимагає більш активної модернізації. Такі технічні засоби й технології поступово повинні йти в минуле внаслідок їх очевидного деградаційного впливу на ґрунт.

Рівноважна щільність будови орних ґрунтів України в орному шарі показана на рис. 5.3.3.



**Рис. 5.3.3. Рівноважна щільність будови орного шару, г/см<sup>3</sup>**

Переущільнення піднасінного прошарку. У табл. 5.3.1 демонструються результати вимірів рівноважної (приблизно через 1-2 місяці після весняних обробіток і сівби ярих зернових культур) щільності будови у над-, піднасінному прошарках, а також у плужній підшві на чорноземних ґрунтах рілля країни. Одночасно обраховано перевищення щільності будови у піднасінному прошарку і в плужній підшві до

щільності попереднього прошарку, а також до тих самих глибин цілини (тривалого перелогу) аналогічних ґрунтів.

Таблиця 5.3.1.

**Щільність будови в окремих прошарках кореневмісного шару в умовах цілини (перелогу) і ріллі (над ризкою - середні значення, під ризкою – кількість дат, залучених до розрахунку)**

Назва ґрунту та гранулометричний склад	Рівноважна щільність будови орного ґрунту (г/см <sup>3</sup> ) на глибинах, см			Перевищення рівноважної щільності в орному ґрунті, +г/см <sup>3</sup> , до попереднього прошарку		Перевищення рівноважної щільності в орному ґрунті, + г/см <sup>3</sup> , до природного аналогу на глибинах, см		
	0-5	10-15	30-35	у піднасіньовому прошарку	у плужній підшві	0-5	10-15	30-35
Чорноземи опідзолені легко- та середньосуглинкові	$\frac{1,25}{12}$	$\frac{1,34}{3}$	$\frac{1,33}{9}$	0,09	0	-	-	-
Чорноземи типові середньо- та важкосуглинкові	$\frac{1,19}{29}$	$\frac{1,24}{12}$	$\frac{1,29}{12}$	0,05	0,05	0,04	0,07	0,14
Чорноземи звичайні важкосуглинкові та легкоглинисті	$\frac{1,08}{50}$	$\frac{1,18}{21}$	$\frac{1,25}{42}$	0,10	0,07	0,02	0,06	0,06
Чорноземи південні важкосуглинкові та легкоглинисті	$\frac{1,10}{17}$	$\frac{1,19}{11}$	$\frac{1,23}{5}$	0,09	0,04	0,10	0,17	0,18

З таблиці видно, що у піднасіньовому прошарку рівноважна щільність будови, хоча й зростає після проведення весняних польових робіт відносно верхнього прошарку, значної небезпеки для появи сходів і розвитку корінь не створює, за винятком чорноземів опідзолених легко та середньосуглинкових. Адже відповідно до численних літературних і наших досліджень, за щільності нижче 1,30 г/см<sup>3</sup> безперешкодно формуються коріння 1-го, 2-го й наступних порядків. Коріння проникають у глиб ґрунту й формують глибоку розгалужену й продуктивну кореневу систему (В.В., Медведєв і др., 2004).

Далі порівняємо значення рівноважної щільності для різних орних ґрунтів із щільністю їхніх цілинних аналогів або тривалого перелогу. У цілинних (перелогових) умовах нами проводилися багаторічні

спостереження за щільністю будови на добре відомих об'єктах - заповідниках Асканія-Нова (Херсонська область, чорнозем південний важкосуглинковий) і Михайлівській цілині (Сумська область, чорнозем типовий середньосуглинковий), а також на перелозі чорнозему звичайного важкосуглинкового (Дніпропетровська область, Синельниківська дослідна станція колишнього інституту кукурудзи). Виявилося, що досліджений показник становив відповідно у прошарку 0-5 см - 1,00; 1,15 і 1,10 г/см<sup>3</sup>, у прошарку 10-15 см - 1,02; 1,17 і 1,12, у прошарку 30-35 см – 1,05; 1,15 і 1,19. Дослідження на цілинах і перелозі, що тривали протягом 30 років (з 1967 по 1997 рр.), показали, що щільність будови мало змінювалася в часі (як за роками, так і протягом сезону). Через цю причину встановлені параметри щільності можна прийняти як фонові (абсолютні, еталонні, природні) і використати як точки відліку для оцінювання змін орних ґрунтів аналогічної генези під дією агрономічної практики.

Далі наведемо результати польового дослідження з вивчення щільності ґрунту під впливом різної кількості проходів тракторів класу 3 т (таблиця 5.3.2).

Таблиця 5.3.2.

**Щільність будови (г/см<sup>3</sup>) чорнозему типового важкосуглинкового в окремих прошарках кореневмісного шару під дією гусеничного і колісного тракторів класу 3т**

Тип ходової системи	Кількість проходів	Глибина вимірювання, см		
		0-5	10-15	30-35
Гусеничний	0	1,15	1,15	1,17
	1	1,17	1,17	1,17
	2	1,25	1,23	1,20
	3	1,27	1,25	1,23
	4	1,27	1,27	1,23
	6	1,32	1,32	1,27
	8	1,35	1,35	1,28
	10	1,37	1,37	1,28
Колісний	0	1,15	1,15	1,17
	1	1,17	1,20	1,23
	2	1,26	1,27	1,25
	3	1,30	1,32	1,27
	4	1,33	1,34	1,30
	6	1,37	1,38	1,33
	8	1,37	1,38	1,35
	10	1,38	1,41	1,39

Якщо обрати за критерій припустимого ущільнення зазначений вище параметр ущільнення  $1,30 \text{ г/см}^3$ , то для гусеничного трактору класу 3т не слід використовувати весною більше 4-х проходів по одній й тій самій колії, а для колісного такого ж класу ще менше – не більше 3-х. Водночас треба підкреслити, що гусеничний трактор не впливає на ущільнення плужної підшви, тоді як колісний явно сприяє акумулюванню щільності на цій глибині, що вкрай небажано.

З літературних даних відомо про виразні зміни будови після проходу тракторів, причому зі збільшенням їхньої маси зростає щільність укладання окремих агрегатів і в цілому будова (Н. Domzal et al., 1997, 1997,a). Тривала оранка, як показують численні виміри твердості на різних ґрунтах України може перевищити  $35\text{-}40 \text{ кгс/см}^2$  у плужній підшві й у більш глибоких шарах, що істотно обмежує глибину кореневмісної зони (В.В. Медведєв, 2009).

Плужна підшва. Про плужну підшву відомо лише те, що вона утворюється в результаті обробітку ґрунтів плугом на ту саму глибину внаслідок надзвичайно високих тисків у контактній зоні між лезом плуга й ґрунтом (А.С. Кушнарєв, 1987). Незважаючи на прийняті профілактичні міри (в основному шляхом періодичної зміни глибини оранки), ущільнений прошарок на границі між орним і підорним шарами присутній практично завжди.

Опираючись на зібрані нами дані (В.В. Медведєв, 2011), можна стверджувати, що якщо твердість у плужній підшві перевищує  $35\text{-}40 \text{ кгс/см}^2$ , ріст коренів у глибину обмежується. Це значить, що за такої твердості зменшуються адаптивні можливості культур, особливо в умовах нестачі доступної ґрунтової вологи. Адже ріст коренів у глибину ґрунту, де завжди є волога, у цих випадках вкрай важливий. Одночасно це ж означає, що із плужною підшвою варто боротися не тільки профілактичними засобами, але й за допомогою глибокого розпушування.

Комбінована технологія, як правило, не передбачає проводити

обробіток ґрунтів глибше 27-28 см, тому що більшість польових дослідів не супроводжувалося помітною користю від поглиблення оранки (В.П. Гордієнко й ін., 1998). Дійсно, збільшення врожаю від поглиблення оранки в більшості випадків було невеликим, часто нестабільно в часі, дуже залежало від якості дотримання інших елементів технології. Разом з тим не можна не звернути увагу на те, що в умовах дослідів дотримуються технологічні рекомендації, рідко використовуються енергонасичені МТА підвищеної маси й взагалі вище культура землеробства.

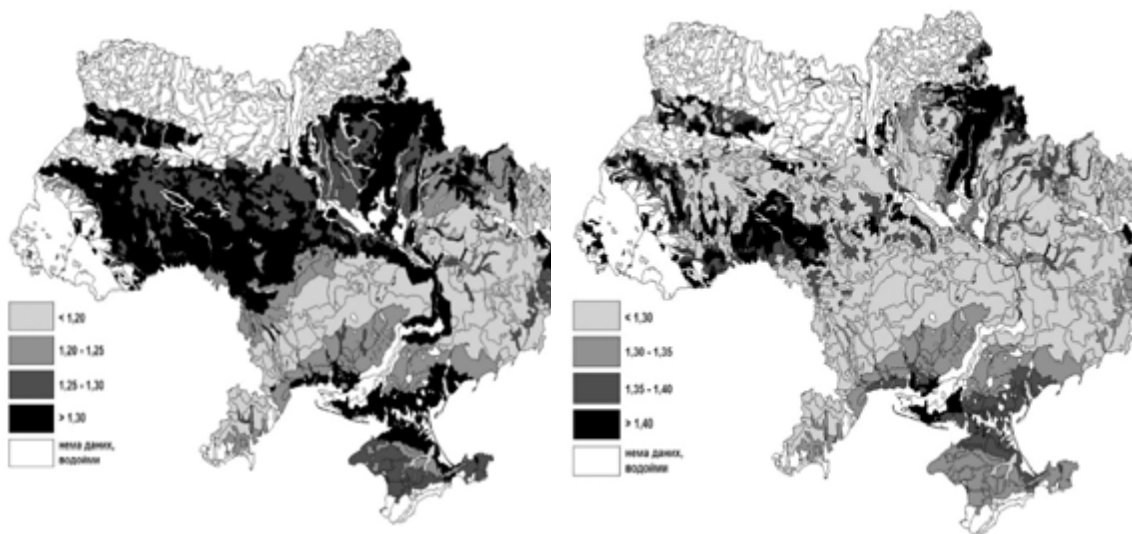
Тому, здається, доцільно провести дослід з поглибленням оранки в умовах виробництва за ретельного контролю твердості ґрунтів у плужній підшві.

Точно також, імовірно, виправдано вивчити роль підорного шару, особливо в умовах короткопрофільних ґрунтів, у живленні рослин. Адже це питання досі практично обійдено увагою й науковців, і виробничників. У зв'язку із цим доречно нагадати, що в ґрунтах з неглибоким ілювіальним горизонтом, за наявності переущільнення, викликаного осолонцюванням або залишковими явищами механічної дії на ґрунтах важкого гранскладу, а в деяких випадках і на легких ґрунтах глибоке меліоративне, переважно безвідвальне, розпушування виявляється досить корисним. В умовах широкого застосування важких МТА й частоті присутності переущільнення в підорних шарах активізація цих робіт представляється досить актуальною.

Одночасно аналіз тієї ж таблиці доводить, що рівноважна щільність на ріллі зростає у всіх досліджених прошарках, але особливо помітно у плужній підшві. Характерно, що щільність у плужній підшві наблизилася до 1,30 г/см<sup>3</sup> – величини, що істотно обмежує можливості самого ґрунту розущільнюватися під дією об'ємних змін. Як було встановлено, за такої величини ущільнення коріння і волога гірше проникають у консолідовані агрегати, що істотно гальмує розущільнення ґрунту (В.В. Медведєв і др., 2004). За даними (там само), у суглинковому

чорноземі вже за щільності  $1,29 \text{ г/см}^3$  аерація досягає критичної межі у 15%. Легко припустити, що саме у плужній підшві акумулюється ущільнення й створюються умови для поступового формування переущільнення в активній частині кореневмісного шару.

У той же час у піднасіньовому прошарку внаслідок формування лише помірних рівнів щільності не створюються умови для гальмування процесів розущільнення. Однак висновок про відсутність переущільнення у піднасіньовому прошарку орних ґрунтів був би поспішним і необґрунтованим. Про можливість переущільнення у цьому прошарку свідчить карта щільності, побудована за масовими вимірами цього показника на чорноземних ґрунтах. Виявляється що майже на 7,9 млн. га щільність ґрунту після проведення весняних польових робіт і сівби перевищує припустиму величину  $1,30 \text{ г/см}^3$ , а на 3,5 млн. га - наближається до неї (рис. 5.3.5, таблиці під рисунками). До того з часом переущільнення просувається вглиб профілю (рис.5. 3.6). Підкреслимо, що перевищення рівноважної щільності будови припадає на найбільш цінні чорноземні ґрунти країни. Причина досить відома – у сільському господарстві на весняних польових роботах віддають перевагу важким потужним колісним тракторам підвищеного класу, бо вони дозволяють за рахунок широкозахватних причіпних знарядь і підвищеної швидкості виконати будь-яку операцію з високою продуктивністю. В умовах, коли щільність повсюдно не вимірюється, створюється помилкове уявлення про користь від використання таких тракторів. Але, на жаль, повністю ігнорується той факт, що питомий тиск ходової системи трактора класу 3 т майже удвічі перевищує державний стандарт.



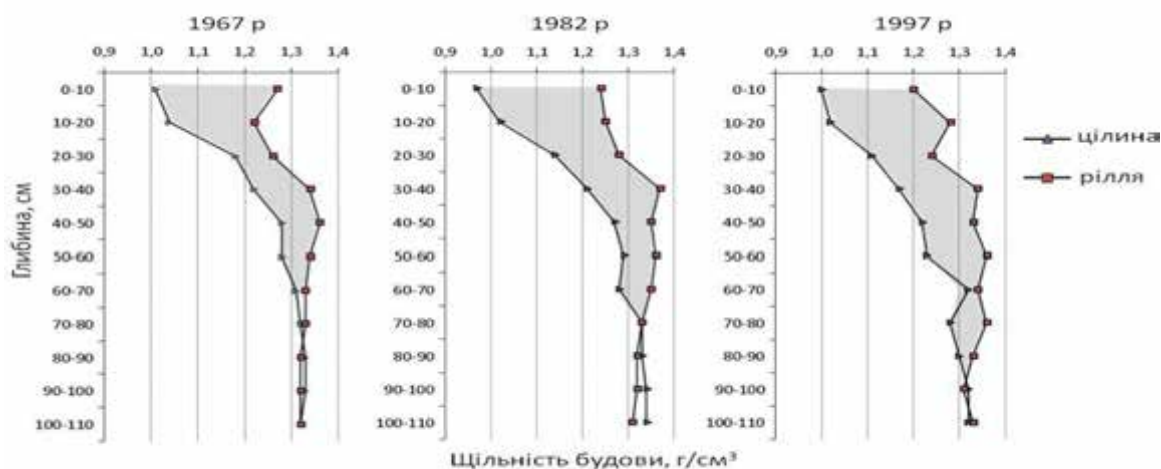
**Щільність будови ґрунту  
у шарі 10-15 см, г/см<sup>3</sup>**

Щільність будови ґрунту у шарі 10-15 см, г/см <sup>3</sup>	Площа ріллі	
	%	млн.га
< 1,20	20,8	6,2
1,20 - 1,25	11,7	3,5
1,25 - 1,30	11,5	3,5
> 1,30	26,3	7,9
нема даних	29,7	8,9

**Щільність будови ґрунту  
у шарі 30-35 см, г/см<sup>3</sup>**

Щільність будови ґрунту у шарі 30-35 см, г/см <sup>3</sup>	Площа ріллі	
	%	млн.га
< 1,30	42,2	12,7
1,30 - 1,35	11,2	3,4
1,35 - 1,40	8,6	2,6
> 1,40	8,7	2,6
нема даних	29,3	8,8

**Рис.5.3.5. Щільність будови ґрунту у піднасінневу прошарку і у плужній підшві.**



**Рис. 5.3.6. Поступове просування переущільнення в глиб профілю чорнозему південного в умовах тривалої оранки (г/см<sup>3</sup>)**

Використовуючи закономірності деформації ґрунту під дією навантаження (інертність, релаксація, еластичність і пластичність), визначено умови, за яких ґрунт зберігає стійкість або деградує. Умови виникнення деградації: навантаження перевищує стійкість. Умови стійкості: навантаження менше стійкості, а його норматив повинен бути меншим або дорівнювати еластичності.

На підставі порівняльного вивчення цілинних (перелогових) і ґрунтів, що розорюються, запропоновані критерії, які можуть бути використані для діагностики їх деградації:

- поступова трансформація структурних одиниць і порового простору від ізотропної до анізотропної будови;

- гальмування процесів агрегації, що супроводжується нагромадженням брил, зменшенням умісту агрономічно корисної структури, погіршенням її водостійкості й механічної міцності;

- ущільнення будови, стійке зростання рівноважної щільності й виникнення консолідованих агрегатів зі зменшеними розмірами усередині агрегатних пор;

- посилення неоднорідності ґрунтового покриву, що проявляється у формуванні специфічних горизонтальних (з ущільненням по краях полів і в знижених елементах рельєфу) і вертикальних (з формуванням плужної підшви, що поступово заглиблюється) профілів (детальніше далі) ;

- поява спадних і висхідних преференційних потоків вологи (детальніше далі);

- виражені релаксаційні процеси, що супроводжуються пульсаційною зміною властивостей і режимів у період від обробітку до формування квазірівноважного стану.

Деградований орний ґрунт, виведений з ріллі на тривалий строк в умови перелогу або ренатуралізованого стану, може набути модальних параметрів, характерних для вихідного природного стану.

## 5.4. Деградаційні проблеми в орних ґрунтах

### 5.4.1. В немеліорованих ґрунтах

Оцінка деградації ґрунтів була отримана з використанням методики голландського дослідника G.W.J. van Lynden (L. R. Oldeman et al., 1991), а джерелами даних послужили матеріали агрохімічної паспортизації полів, що проводиться з 1965 р. кожні 5 років (В.О. Греков і ін., 2011), база даних інституту ґрунтознавства й агрохімії (Т.М. Лактіонова і ін., 2010), що включає інформацію про морфологічні, фізичні, фізико-хімічні і хімічні властивості більш ніж 2000 розрізів, а також матеріали тривалих польових дослідів з обробітком й добривами. Як видно з таблиці 5.4.1.1 і рис. 5.4.1.1, в Україні на орних землях домінують: втрата гумусу, переущільнення і інші прояви фізичної деградації, а також ерозія.

Табл. 5.4.1.1.

#### Типи і поширення деградацій ґрунтів в Україні

Тип деградації ґрунтів	% від площі ріллі (32 млн. га)
Втрата гумусу й поживних речовин	43
Переущільнення	39
Замулення й кіркоутворення	38
Водна ерозія площинна	17
Підкислення	14
Заболочування	14
Забруднення радіонуклідами	11,1
Вітрова ерозія, втрата верхнього шару ґрунту	11
Забруднення пестицидами й іншими органічними речовинами	9,3
Забруднення важкими металами	8
Засолення, підлугування	4,1
Водна ерозія, утворення ярів	3
Побічна дія водної ерозії (замулення водойм і ін.)	3
Зниження рівня денної поверхні	0,35
Деформація земної поверхні вітром	0,35
Аридизація	0,21

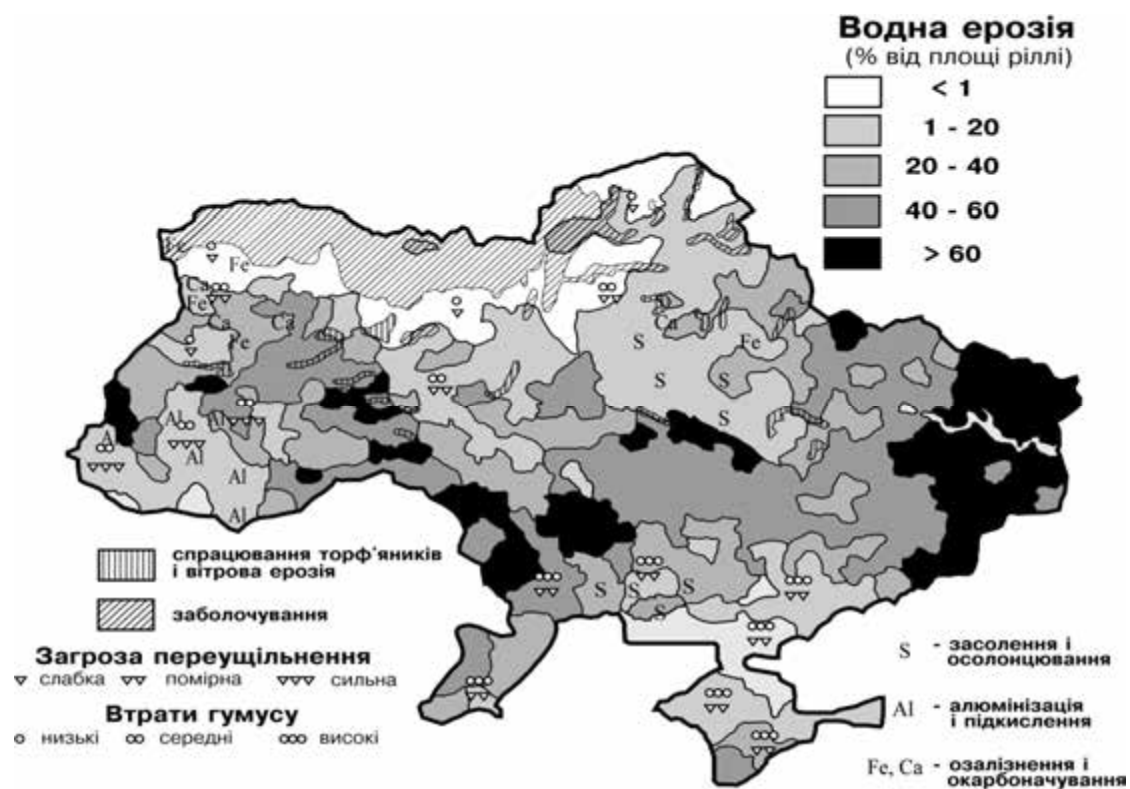
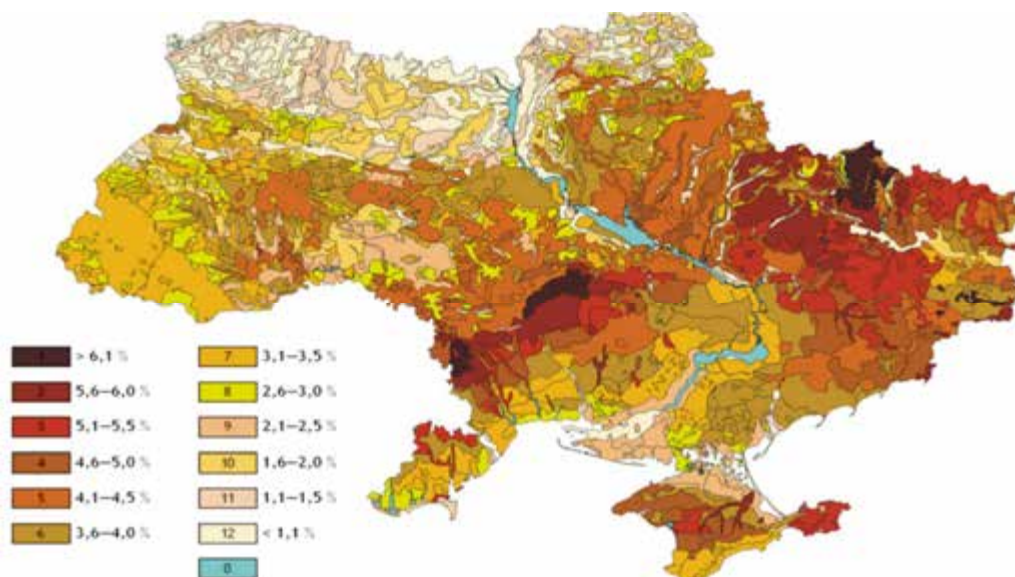


Рис. 5.4.1.1. Основні види деградації ґрунтів в Україні

**Дегуміфікація.** В Україні органічна речовина є традиційним об'єктом досліджень у ґрунтознавстві, починаючи з 19 століття, коли В.В.Докучаєв здійснив її перші виміри в рамках експедиції по чорноземній зоні (В.В. Докучаєв, 1883). З тієї пори інтерес до вивчення органічної речовини не падає в силу її виняткового значення для продуктивного, екологічного й соціального функціонування ґрунтів. В Україні виконані фундаментальні дослідження ролі органічної речовини в основних розділах ґрунтознавства й особливо в хімії, біології, фізиці ґрунтів, опубліковані фундаментальні монографії.

Ґрунти України характеризуються в основному середнім (2-3%) і підвищеним (3-4%) умістом гумусу. Площа ґрунтів із цим умістом становить 16,4 млн га, або біля половини площі ріллі. Ґрунти з низьким (1-2%) і дуже низьким (<1%) поширені в зоні Полісся, де зосереджено ґрунти супіщаного й піщаного гранскладу (рис. 5.4.1.2). Зіставлення гумусованості ґрунтів у часи В.В. Докучаєва із сучасним станом показали,

що втрати гумусу за майже 130-літній період досягли 22% у лісостеповій, 19,5% - у степовій і близько 19% - поліській зонах України. Щорічні втрати гумусу становлять 550-600 кг/га (Стратегія..., 2012). Це середні дані, у літературі зустрічаються й інші дані, що свідчать про більш значні втрати (через неточність визначення орієнтованості початкових вимірів, а також у силу значної строкатості вмісту гумусу).



**Рис. 5.4.1.2. Уміст гумусу в орних ґрунтах України (Національний атлас України, 2007)**

Тривала оранка ґрунтів і їхнє сільськогосподарське використання без достатнього несення добрив приводить до значних втрат гумусу. У табл. 5.4.1.2 наведені узагальнені дані, отримані на варіантах стаціонарних дослідів з добре відомою історією. Достовірне (за  $P=0,95$ ) зниження вмісту загального гумусу виявляється на всю проаналізовану глибину до 60 см.

Найбільші втрати гумусу в ґрунтах відбулися в період 80-х років минулого століття й були наслідком збільшення частки просапних культур у сівозмінах (у першу чергу цукрових буряків й кукурудзи).

Таблиця 5.4.1.2.

**Уміст (%) загального гумусу в цілиних і орних чорноземах  
(верхній шар 0-20 см, на цілині - без дернини)**

Глибина, см	Чорноземи					
	типовий, цілина	типовий, рілля	звичайний, переліг	звичайний рілля	південний, цілина	південний рілля
0-10	7,76	4,58	4,61	4,25	4,39	3,22
10-20	6,08	4,55	4,35	4,20	3,58	3,20
20-30	5,05	4,51	4,28	4,12	2,65	2,46
30-40	4,79	4,29	3,74	3,48	2,00	1,91
40-50	4,05	3,85	2,80	2,61	1,22	1,10
50-60	3,82	3,60	2,65	2,49	1,18	1,02

У наступні роки, коли рівень щорічного внесення органічних добрив досяг 8,4 т/га, а мінеральних - 170 кг діючої речовини на гектар, а в окремих областях навіть перевищив 15 т/га й 200 кг/га, імовірно, уперше було досягнуто просте відтворення ґрунтової родючості (майже рівноважні баланси гумусу й рухомих поживних елементів). Однак у наступні роки у зв'язку з економічними труднощами перехідного періоду й формуванням ринкових відносин внесення добрив у ґрунт скоротилося, а баланс гумусу став негативним. Лише в самі останні роки намітилися тенденції поліпшення ситуації. Внесення мінеральних добрив збільшилося до 75 кг/га, однак відчутних зрушень відносно органічних добрив практично не сталося, що не могло не відбитися на динаміці вмісту органічної речовини в ґрунтах. В останні роки втрати гумусу відбуваються зі швидкістю 620 кг/га в рік, однак вони коректуються в залежності головним чином від структури сівозміни й застосовуваної технології (способів обробітку й норм внесення органічних добрив). (Стратегія..., 2012).

Знеструктурення (трансформація макро- і мікроморфологічної будови, зменшення кількості і водостійкості агрегатів, утворення брил, кірки і тріщин) - процес втрати переважно зернистої ізотропної форми агрегатів, властивої природному ґрунту, а також розпилення. Згідно

здобутих даних тривале використання ґрунтів не приводить до значних змін потужності окремих генетичних горизонтів, основних морфологічних ознак і в цілому не змінює суті ґрунтоутворного процесу (О.М. Гринченко й ін., 1966 і інші). Разом з тим можна привести чимало інших прикладів, коли навіть короткочасні, але дуже інтенсивні опади здатні знищити гумусові шари (П.А. Гаврик, 1960), коли в основі орного шару формується плужна підшва потужністю 7-10 см, докорінно перетворюючи будову, властивості й процеси в ріллі. Інший приклад: видування (або відкладення) досить глибоких шарів у результаті пилової бури. За зрошення в міграцію нерідко утягуються величезні маси солей, формуючи нові повторно засолені горизонти. Це приклади грубої і явної трансформації морфології й будови ґрунтових профілів. У літературі можна знайти приклади поступового менш явного збільшення потужності ілювіального горизонту дерново-підзолистого ґрунту в Поліссі під впливом комплексу вдобрювальних і меліоративних заходів (Д.І. Ковалишин, 1982), або поверхневого оглинення інтенсивно розорюваних ґрунтів Молдови (И.А. Крупеников и др., 1976). Інакше кажучи, під дією головним чином факторів антропогенної природи будова ґрунту може трансформуватися. При цьому важливо підкреслити, що, якщо цілина протягом сторіччя здатна зберігати властиві їй риси, то рілля (особливо на схилі) свою стійкість втрачає.

Тому зовсім упевнено можна стверджувати, що в умовах сільськогосподарської культури, через дефіцитний баланс біофільних елементів, постійні механічні впливи, явне зниження стійкості рілля не може не зменшувати потужність верхнього горизонту. Правда, довести це важко через відсутність масових кількості спостережень. Але все-таки, використовуючи підхід С.Ю. Булигіна й ін. (1998) і дані, опубліковані в книзі В.В. Медведева і ін. (1997), такі розрахунки нами були зроблені. Підхід полягає в розрахунку гіпотетичної потужності двох верхніх генетичних горизонтів за допомогою регресійних моделей, що описують

інтенсивність ґрунтоутворного процесу на підставі крутості й експозиції схилу, вмісту фізичної глини й деяких інших параметрів. Вихідні потужності цих горизонтів були визначені за даними великомасштабного ґрунтового обстеження 1957-1961 рр. Розрахунок зроблений для домінуючих зональних ґрунтів Полісся, Лісостепу й Степу, крім заплавної і гірських ґрунтів. Дані показують, що орні ґрунти менш потужні, чим цілині. У чорноземних ґрунтах, як виявилось, більш уразливих, різниця може досягати 10 см.

Ще більш яскраві докази морфологічної трансформації виявляються при їхньому дослідженні в шліфах. Систематичний механічний обробіток приводить до морфологічної й функціональної деградації структури й порового простору. Морфологічної - тому що остаточно втрачаються генетично властиві типи структур, функціональної - тому що поровий простір спрощується, знижується його порядковість, збільшується частка міжагрегатних повітряноємних проміжків. Виходить, зменшується частка внутрішньоагрегатних пор, де відбувається водно-мінеральне живлення корінь рослин. У той же час застосування мінімальних способів обробітку (особливо нульового) стримує деструкцію ґрунту й здатне дещо поліпшити його будову. Складну, суперечливу дію роблять на ґрунт добрива - гній поліпшує мікроморфологічні оцінки структур, мінеральні добавки - скоріше погіршують, якщо застосовуються у високих дозах.

В агрегатах ріллі, як правило, відсутня майже обов'язкова для агрегатів цілини окантовка гуматною (найвірогідніше гідрофобною, що додає йому додаткової стійкості) плівкою, різко зростає рельєфність, деформованість, а разом з ними знижується досконалість їхніх поверхонь. Коефіцієнт оформленості агрегатів (за типом коефіцієнта окатаності гальок Уейделла-Кухаренко, за Атласом текстур і структур осадових порід, 1962) для агрегатів оброблюваних шарів досягає 0,15-0,30, а в чорноземі південному - нижче 0,10 проти 0,40-0,50 на цілині за максимального еталонного значення 0,90. Значно змінюються порядковість агрегатів і

співвідношення агрегатів високого й низького порядків.

Отже, незважаючи на консервативність і стійкість морфологічних ознак ґрунтів сучасна система землеробства здатна зробити відчутні дії, як на макро-, так і особливо на мікрорівні. Деякі із цих змін можна однозначно тлумачити як морфологічну й функціональну деградацію.

Утворення брил, кірки й тріщин на поверхні ґрунту практично стало характерним для давньої ріллі. Треба звернути увагу на те, що великі ґрунтові агрегати, якщо й присутні на цілині, їх міцність не перевищує 2-3 кПа, у той час як міцність брил на ріллі нерідко (в умовах зниженої вологості) досягає 30-40 кПа. Через підвищену механічну міцність і низьку пористість брили ріллі менш проникні для коріння і вологи, внаслідок чого здатні довго зберігатися практично без змін.

Як критерії знеструктурення використовуються структурний склад і різноманітні розрахункові коефіцієнти структурності, водостійкості й інші (рис. 5.4.1.3, 5.4.1.4). Всі перераховані критерії узгоджено показали помітне погіршення структури у ґрунтах, що давно розорюються (табл. 5.3.5). Навіть у добре гумусованих чорноземах після плужної оранки може утворитися до 30% брил. Майже вся рілля країни має ту чи іншу кількість брил. І якщо восени із цією кількістю брил можна примиритися, тому що взимку вони сприяють затримці снігу на полях, а до весни їхня кількість звичайно стає меншою або вони зникають зовсім, то навесні навіть невелика кількість брил неприпустима, тому що вони не дозволяють провести якісну сівбу, гальмують появу сходів і сприяють непродуктивному випаровуванню ґрунтової вологи. Та обставина, що брили утворюються навіть у чорноземах за вологості, близької до фізичної стиглості, з безсумнівною доводить наявність процесів фізичної деградації ґрунтів.

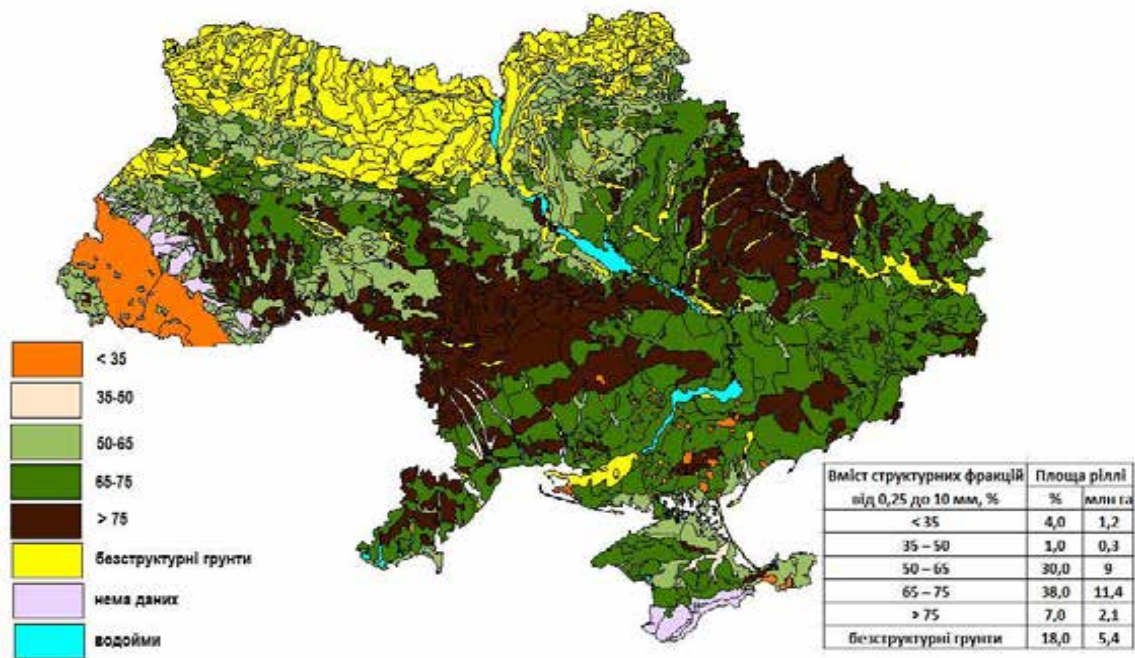


Рис. 5.4.1.3. Структурний склад орних ґрунтів України

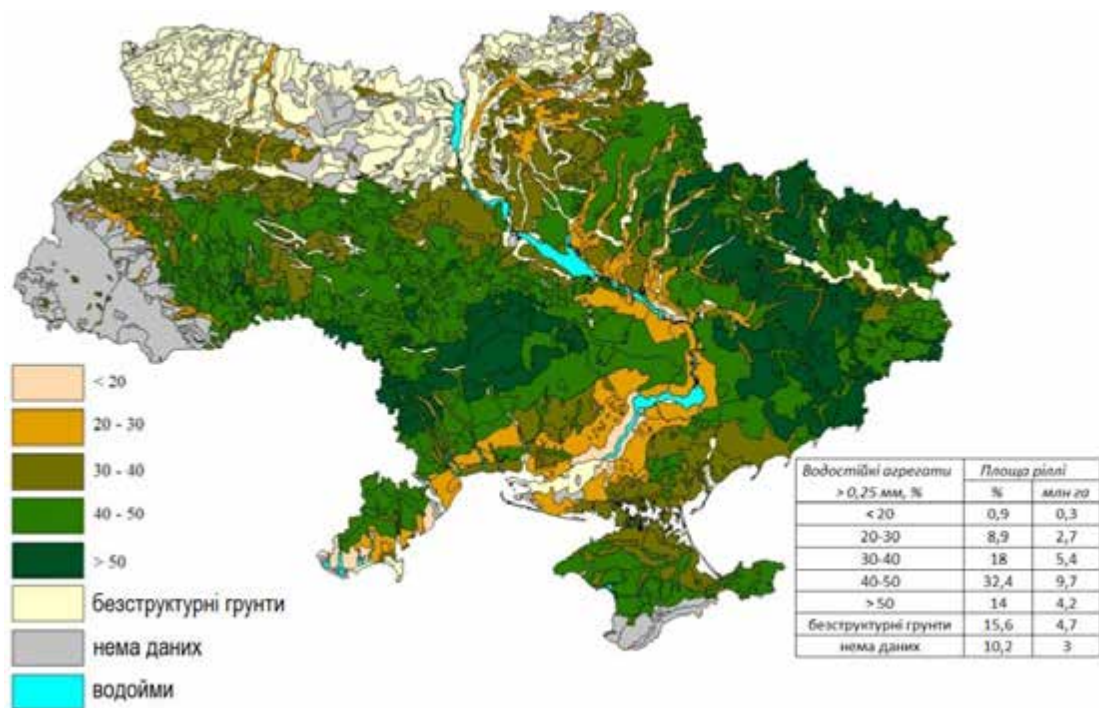


Рис. 5.4.1.4. Водостійкість структури орних ґрунтів України

Найбільшою схильністю до утворення брил характеризуються солонцюваті ґрунти важкого гранскладу півдня України, основний обробіток яких здійснюється переважно в підсушеному стані, осолоділі й солонцюваті ґрунти Середнього Придніпров'я, еродовані ґрунти Правобережного Лісостепу, оглеєні ґрунти Передкарпаття й Закарпаття.

Кірка як вид фізичної деградації також поширена на ріллі України. Крім того, є небезпека подальшого її поширення за інтенсифікації землеробства або за умови можливих змін клімату (зокрема, наростання зволоження взимку, тепла влітку і його контрастності в цілому). Ґрунти, де можливе утворення кірки, зосереджено в західній і північно-західній частинах України. Саме там від 20 до 60% орних ґрунтів мають такі недоліки, а ступінь їхнього прояву - від сильної до слабкої (В.В. Медведєв, 2013). Утворення кірки найчастіше відзначається на початку вегетації культур.

У чорноземах типових кірка з'являється в результаті руйнування структури під впливом тривалого й інтенсивного обробітку й деякого збільшення фактора дисперсності (за Качинським), що, як відомо, характеризує потенційну здатність ґрунтів формувати мікро- і макроструктуру.

За підсихання кірка розтріскується, утворюючи тріщини, діаметр яких іноді досягає 5 см і більше. Легко собі уявити, наскільки несприятливі їхні наслідки для кореневмісного шару, рослин, їхніх корневих систем і якості наступного осіннього основного обробітку. Чим більше тріщин, тим більше втрата вологи, морфологічно менш досконала й продуктивна коренева система, зростає опір обробітку й стає більше консолідованих агрегатів у результаті кришення. Тріщини - звичайне явище в другій половині вегетаційного періоду практично на всіх орних ґрунтах Лісостепу й Степу.

Поява в поверхневому шарі ріллі брил, кірки й тріщин є наслідком погіршення процесів структуроутворення й водостійкості ґрунтових

агрегатів у контрастних умовах водно-температурного режиму, властивого орним ґрунтам. На жаль, комбіновані способи обробітку, що домінують в Україні, практично не сприяють зменшенню прояву несприятливих наслідків знеструктурування (утворення брил і кірки) в оброблюваному шарі ґрунту.

Таблиця 5.4.1.3.

**Коефіцієнти структурності і водостійкості  
цілинних і орних чорноземів**

Варіанти		Глибина, см	Коефіцієнт структурності	Коефіцієнт водостійкості
Чорнозем типовий	цілина	4-14	5,9	0,7
	рілля	0-25	2,5	0,5
Чорнозем звичайний	Переліг	4-14	3,3	0,5
	рілля	0-25	2,0	0,2
Чорнозем південний	цілина	12-22	4,0	0,7
	рілля	0-25	1,4	0,3

Гальмування процесів агрегації. За тривалої оранки структурний склад досліджених чорноземів значно змінюється. Достовірне зниження вмісту в орному шарі порівняно з тією же глибиною цілини агрегатів агрономічно корисного розміру (10-0,25 мм) супроводжується одночасним збільшенням вмісту брил (>10 мм). Розпилення ґрунту при цьому менш виражено.

Коефіцієнт структурності, розрахований за відношенням вмісту агрегатів розміром від 10 до 0,25 мм до суми пилюватих і брилистих структур, знижується в 1,6-2,9 рази.

Зниження вмісту в орних ґрунтах гумусу й кальцію неминуче гальмує процеси агрегації. Якщо розрахувати, скільки доводиться агрегатів агрономічно корисного розміру і яка їх водостійкість на 10% фізичної глини на цілині й ріллі, тобто, своєрідний норматив агрегації для умов

спрощеної лінійної моделі, то буде знайдено істотну різницю. Для чорноземів типових і звичайних суглинкового гранскладу відповідно 1,75 і 1,60 для структурних агрегатів розміром від 10,0 до 0,25 мм і 1,60 і 1,00 - для водостійких агрегатів крупніше 0,25 мм. Відповідні матеріали ми одержали, скориставшись експериментами, узагальненими в роботі В.В.Медведева (2008). Із цих результатів виходить, що в результаті тривалого обробітку явно помітно гальмується утворення структури й ще істотніше знижується її якість.

Водостійкість агрегатів. Характерним є різке зниження водостійкості агрегатів ріллі, причому на цьому тлі практично зникають водостійкі агрегати крупніше 3 мм. Можна стверджувати, що це є наслідком втрати органічної речовини. Адже в чорноземі типовому вміст загального гумусу у верхньому шарі 0-10 см знижується з 7,76 до 4,58, а в чорноземі південному - з 4,39 до 3,22 % (В.В. Медведев, 2008).

Механічна міцність агрегатів. У дослідженні механічної міцності агрегатів був використаний розроблений нами метод струшування й просівання певної наважки ґрунту протягом 1 год. на електричному ситовому ротаторі. Швидкість руйнування агрегатів цілини й ріллі неоднакові. Перші руйнувалися відносно рівномірно, і до кінця першої години спостережень їхній розпад був дуже малий. Другі значно швидше руйнувалися спочатку, і їхній розпад нерідко тривав протягом усього періоду коливань.

Водопроникність і водоутримуюча здатність. Відразу після обробітку чорнозем у максимально розпушеному стані характеризується високою водопроникністю (середнє за 6 год. спостережень 120-142 мм/г); у стані рівноважної щільності водопроникність знижується більш ніж в 2 рази (50-62 мм/г). На цілиних ділянках водопроникність відносно стабільна (65-93 мм/г). Таким чином, тривала оранка чорноземних ґрунтів змінює їх водоутримуюча здатність порівняно із цілиною. Розходження найбільш істотні в інтервалі низьких тисків ґрунтової вологи. Якщо оранка

супроводжується нагромадженням дрібних агрегатів, потенційна водоутримуюча здатність ріллі порівняно із цілиною різко зростає, однак стійкість цього запасу доступної вологи в ґрунті невисока, за збільшення тиску вологи її зміст швидко падає. Поровий простір давньої ріллі, очевидно, може поступово трансформуватися від до модальної будови, що характеризується перевагою (за рівноважної щільності) малих пор.

Консолідація агрегатів. Істотна особливість орного, особливо зрошуваного, ґрунту полягає у виразному прояві пластичної деформації, що є причиною підвищеної консолідації ґрунтової маси. Нагадаємо, що під консолідацією мається на увазі ущільнення ґрунту, за якого відбувається не тільки зменшення пористості (ця стадія називається власне ущільненням), але й видавлювання вологи із внутрішньоагрегатних проміжків (R. Horn et al., 2000). Так, щільність окремих структурних агрегатів чорнозему південного розміром 5-3 мм на цілині становить 1,50, ріллі – 1,60, а при зрошенні – 1,68 г/см<sup>3</sup>. Фактично мова тут уже йде про утворення переущільненого ґрунту, у якому досягається дуже висока щільність упакування мікроагрегатів за рахунок їхньої взаємної орієнтації (В.В. Медведєв, 2013).

Крім цього, тривала оранка чорнозему вірогідно знижує вміст і істотно збільшує мобільність органічної речовини. Це в більшій мірі відбивається на міцності макроагрегатів, чим мікроагрегатів, і є причиною зміни фізичних властивостей і режимів (В.В. Медведєв, 2008).

Отже, тривала оранка чорноземів приводить до глибоких змін у їхній структурі, будові, процесах мікро- і особливо макроагрегації, фізичних і водних властивостях. Найбільш важливим представляється майже відсутній на цілині своєрідний пульсаційний процес зміни основних компонентів будови, за якого в ґрунті відразу після обробітку різко збільшується, зменшується частка твердої фази в одиниці об'єму, а потім за рахунок релаксаційних процесів відбувається відновлення рівноважної щільності до більш високого рівня, чим на цілині. Наслідком цього є,

видимо, такий же пульсаційний хід всіх інших процесів, функціонально пов'язаних із щільністю будови ґрунту. У результаті орний чорнозем помітно відрізняється фізичними параметрами від цілини

Роль структури в стійкому забезпеченні населення ґрунту вологою. Добре відомо, що структурний ґрунт здатний у сотні й навіть тисячу разів ефективніше убирати вологу, чим безструктурний, розпилений. Про це свідчить експонентна залежність (П.В. Вершинин, 1959), причому розходження між ґрунтами, що мають неоднаковий структурний склад, починають відчуватися вже за мінімальної кількості в ньому пилу. Якщо при цьому структурний ґрунт має ще й водостійкі в часі агрегати, це забезпечить величезні екологічні переваги такому ґрунту. Адже такий ґрунт за рахунок головним чином преференційних потоків вологи здатний зволожитися практично дуже швидко на всю глибину кореневмісного шару. Неважко передбачати подальшу долю цієї вологи. З міжагрегатних проміжків за рахунок перепаду тисків вона поступово переміститься у внутріагрегатні пори, де буде збережена й стане доступною для численних мешканців у ґрунті. Звичайно, у реальних умовах, де в ґрунті, особливо в її поверхневому шарі, завжди є деяка кількість пилу, а в профілі майже обов'язково присутні перешкоди (у вигляді плужної підшви або переущільнених ілювійованих горизонтів) для безперешкодного спадного преференційного потоку, зволоження проходить не настільки швидко й не настільки закономірно. Але все-таки безпосередні спостереження за такими процесами доводять, що описана схема підтверджується (В.В.Медведев і ін., 2003).

Роль структури в зменшенні швидкості мінералізації. Добре оструктурений ґрунт, як ми встановили, має бімодальну структуру порового простору, причому зі збільшенням у складі структур дрібних агрегатів частка тонких пор зростає. Відповідно до цього погіршуються умови для мінералізації, і частина органічних речовин виявляється захищеною від процесу прискореного розкладання. Адже в цьому процесі

беруть участь винятково анаеробна мікрофлора, а в тонких порах умови для її активної життєдіяльності несприятливі. Прямих досліджень у цьому напрямку ми не проводили, але в літературі на цей рахунок є чимало доказів. Так, A.G. Seech et al. (1988) і J.A. Van Veen et al. (1990) установили, що присутність у ґрунті невеликих пор зменшує доступність органічних матеріалів для розкладання, тим самим знижуючи мінералізацію вуглецю й азоту. Незалежно від цих робіт J.D. Jastrow et al. (1991) установили просторову локалізацію мікробів і мезофауни залежно від розміру структурних агрегатів. Бактерії також приурочені до пор різних розмірів у межах ґрунтового агрегату, вибираючи їх залежно від аерації й обводненості (Т. Hattori et al., 1976; A. Winding, 1994). Так, високий рівень денітрифікації відзначається в центральній частині макроагрегатів невеликих розмірів (A.J. Sextone et al., 1985).

Роль структури в підтримці біорізноманіття. Наявність у ґрунті структурних одиниць і відповідно пор різного розміру обумовлює просторову різноякісність умов і, насамперед, у забезпеченості вологою й повітрям. Ця обставина служить основною причиною неоднорідності, точніше, локалізації фауни в ділянках з підвищеною або зниженою гідроморфністю й ксероморфністю відповідно їхнім вимогам до середовища. Таким чином, у ґрунті створюються умови для збереження біорізноманіття в роки з несприятливими кліматичними умовами. Чисельність фауни в несприятливі роки, хоча й скорочується, при відновленні модальних умов мікробіологічний пул здобуває колишні риси. На цю особливість структурного ґрунту звернули увагу Є.В. Шеїн і ін. (2001). Згодом С.Я. Трофимов і ін. (2004) констатували, що неоднорідний розподіл вологи в ґрунтовому просторі (додамо від себе, що є наслідком наявності структур і пор різного розміру) з'явився фактором еволюції, що привів до формування найпростіших мініатюрних розмірів, адаптованих до життя у водних примікроагрегатних плівках.

Підкреслимо: внутрішні і міжагрегатні проміжки по-різному

забезпечені водою й повітрям, тут по-різному здійснюються обмінні процеси, трансформація органічних речовин, різні трофність і в цілому умови життя. Так, поверхневі зони агрегатів завжди збагачені аеробною, внутрішні, навпроти, - анаеробною мікрофлорою. У посушливих умовах на чорноземах у внутріагрегатному просторі завжди зберігаються умови для виживання вологолюбних мікроорганізмів.

Роль структури в секвестрації вуглецю. На жаль, роль структури ґрунтів, як і особливо способів їхнього обробітку, у балансі атмосферного й ґрунтового вуглецю досліджена в Україні зовсім недостатньо, що варто було б виправити у зв'язку з міждержавними дискусіями на цей рахунок. Є всі підстави припускати, що підтримка поверхневого шару ґрунтів у добре оструктуреному стані буде сприяти консервації вуглецю ґрунту на існуючому рівні. Тут доречно згадати роботу австралійських дослідників, виконаних ще в 50-і роки минулого сторіччя (A.V. Rovira et al., 1957). У ній було показано, що підтримка ґрунту в агрегованому стані запобігала втратам поживних речовин із ґрунту, доступ мікроорганізмів до органічної речовини, розташованої усередині агрегатів. Навпроти, штучне руйнування агрегатів підвищувало уміст у ґрунті рухомих елементів живлення й стимулювало мікробіологічну активність.

Досвід довгострокового застосування мінімальних способів обробітку й особливо його нульового варіанта, що супроводжується поліпшенням структурного стану ґрунту, доводить не тільки можливість призупинення втрат гумусу, але й деякого збагачення ним орного ґрунту (В.В.Медведєв і ін., 2006).

Наші припущення виправдані, якщо звернутися до закордонного досвіду дослідження секвестрації вуглецю. Виявилося, що ця проблема в останні роки привертає увагу багатьох учених. Секвестрація вуглецю ґрунту - його здатність утримати вуглець від емісії в атмосферу й тим самим зм'якшити парниковий ефект. Секвестрація вуглецю розглядається як важлива частина проблеми охорони навколишнього середовища. У

США видана книга (російською мовою), у якій уперше оцінений потенціал орних земель відносно можливості секвестрації вуглецю (Р. Лал і ін., 1998). Як і слід було сподіватися, у секвестрації вуглецю вирішальне значення має якість поверхневого шару ґрунтів, що залежить від способів їхнього обробітку, а із властивостей ґрунтів - від умісту в них гумусу й структурного складу. У книзі приводиться ряд посилань на дослідження, які показали наявність тісного зв'язку між секвестрацією вуглецю й розміром структурних агрегатів (Angers, 1992; Beare et al., 1994; Tisdal, 1996). Агрегати ґрунту розглядаються як органо-мінеральні утворення, у яких вуглець захищений від мікробного розкладання, і, отже, від емісії.

#### **5.4.2. В меліорованих ґрунтах**

##### **За зрошення**

Стан ґрунтів за довготривалого зрошення узагальнено С.А. Балюком і ін. (2009) за результатами спеціального еколого-меліоративного моніторингу (П.І. Коваленко и др., 1999). У цілому на зрошуваних землях України склався такий розподіл площ за глибиною залягання РГВ: менше 1 м – 0,2 %, 1-2 м – 3-4 %, 2-3 м – 10-12 %, 3-5 м – 15 % і більше 5 м – 70 % від загальної площі зрошення; щодо мінералізації ґрунтових вод: менше 1,1 г/л – 25-28 %, 1,1-3 г/л – 30-32 % і більше 3,1 г/л – 30-33 %.

Аналіз наявного матеріалу свідчить про те, що в основному засолені ґрунти, приурочені до морських терас, дельт, заплав і низових терас річок, а також до днищ великих балок, найчастіше мають генетичне походження.

Основні площі середньо- і сильнозасолених ґрунтів в Одеській, Херсонській, Запорізькій і Донецькій областях і Автономній Республіці Крим розташовані в приморській зоні в границях морських терас. Вони зустрічаються між оз. Сасик і Алібей, між Хаджибейським і Куяльницьким лиманами, уздовж Каркінітської затоки, Молочного лиману, Феодосійської затоки й ін. У Дніпропетровській, Запорізькій і Луганській областях такі ґрунти приурочені до заплав великих річок, таких як Орель, Самара, Сіверський Дінець, а також до їхніх притоків (рр. Бик, Янчул,

Гайчур, Деркул, Айдар, Євсуг і ін.). Найнижчу засоленість мають заплави рік Південного Бугу і його притоків, Тилигула, Великого Куяльника, Інгулу й Інгульця.

Основна ж частина ґрунтів заправ рік і низьких терас степової зони України має слабкий ступінь засоленості.

На зрошуваних масивах Одеської й Миколаївської областей на захід від Південного Бугу, де для зрошення використовували води підвищеної мінералізації (зрошення на місцевому стоці), спостерігається слабка засоленість. У Херсонській області, у районах Інгулецького, Червонопрапорного й Каховського каналів поширені незасолені ґрунти зі слідами соди. Кількість сильно- і середньозасолених ґрунтів на масивах зрошення обмежена й зустрічається у вигляді окремих плям. Таким чином, процеси вторинного засолення мають обмежений розвиток. У цілому на зрошуваних землях України площі зі слабким ступенем засолення представляють 6-8 %, середнім – 1-2 % і сильним – 0, 5-1,0 %.

У регіональному плані ділянки з негативним еколого-меліоративним станом земель приурочені до заправ річок, схилів річкових долин і балок, низьких надзаправних терас, прибережних і приканальних зон, подів і мікрозападин, а також до зрошуваних земель.

Негативний стан земель у границях заправ річок півдня України обумовлений, головним чином, засоленістю ґрунтів (південно-західна приморська частина Одеської області, ліві притоки Сіверського Дінця в Луганській області, лівобережна частина Дніпропетровської області, заплави річок Орель, Самара, Вовча). На окремих площах незадовільний стан викликаний дуже близьким заляганням ґрунтових вод, підтопленням або заболочуванням земель. У Присивашші до цих показників додається ще й солонцюватість ґрунтів, а також висока мінералізація ґрунтових вод. На окремих ділянках заправ рік (Донецька область) відзначені активні процеси карстоутворення (відкрита форма карсту).

У границях крутих схилів річкових долин і балок незадовільний стан

земель обумовлений інтенсивним розвитком площинної ерозії, яроутворення, зсувів і обвалів. На півночі Одеської і Миколаївської областей на деяких ділянках при практично суцільному поширенні зрошуваних земель незадовільний стан викликаний активно діючими карстовими процесами на схилах, рідше – суффозією. Інтенсивно ці процеси розвинені уздовж Каховського водоймища в границях Херсонської області. Місцями, переважно в Миколаївській області й у Криму, незадовільний стан земель на схилах пов'язаний з розвитком у їхніх границях середньзасолених ґрунтів (на ущільнених глинах).

На вододільних просторах ділянки з незадовільним еколого-меліоративним станом приурочені, головним чином, до зрошуваних площ, як наслідок підйому РГВ вище критичних оцінок і підтоплення території (Миколаївська, Дніпропетровська, рідше – Одеська області, Крим). Іноді ці процеси підсилюються високою мінералізацією ґрунтових вод. У границях південної частини Дунай-Дністровського межиріччя (Одеська область), у Херсонській, рідше в Запорізькій областях причиною незадовільного стану земель є осідання лесових ґрунтів на зрошуваних площах. В окремих регіонах Херсонської, Дніпропетровської, Луганської областей і Автономної Республіки Крим активний розвиток здобувають суффозійно-карстові процеси й процеси гідроморфної трансформації ґрунтів.

У границях Херсонської області райони незадовільного еколого-меліоративного стану нерідко приурочені до подів (як давніх, так і новоутворених), де проходить гідроморфна трансформація ґрунтів і лесових порід.

Значна частина як зрошуваних, так і прилеглих до них богарних земель, які зазнають впливу від іригації характеризується задовільним станом. Найбільше таких земель у Дніпропетровській, Херсонській, Миколаївській і Одеській областях.

У границях заплав рік і днищ балок такий стан викликаний як неглибоким заляганням ґрунтових вод (практично повсюдно), так і

слабкою засоленістю ґрунтів (межиріччя Дунай-Дністер, Крим, південь Запорізької області, лівобережна частина Дніпропетровської області, заплави майже всіх річок Донецької й Луганської областей).

У межах терасових і вододільних рівнин півдня України задовільний еколого-меліоративний стан обумовлений переважно розвитком зсувних процесів (північно-західна частина Одеської області), площ змиву ґрунтів і підґрунтя (схили балок, річкових долин і великих подів), підвищеною мінералізацією ГВ (Миколаївська, Херсонська, Запорізька області), подоутворенням (Херсонська, у меншій мірі Одеська й Миколаївська області). Рідше погроза погіршення стану викликана розвитком негативних процесів (карсту, суффозії, осідання, еолових процесів і ін.), засоленістю й солонцюватістю ґрунтів.

У результаті різних причин, з 2,2 млн га зрошуваних земель у цей час зрошується лише 600-700 тис га. На іншій площі зрошення тимчасово або остаточно припинено. Із причин ґрунтово-деградаційного характеру відзначаються як найпоширеніші: підняття рівня ґрунтових вод (біля 13-15 % площі зрошуваних земель), активізація процесів засолення верхнього метрового шару (до 10 % площі), підлуговування й утворення соди (повсюдно в межах зрошуваних масивів Одеської, Херсонської, Миколаївської й інших областей), осолонцювання (практично домінуюча частина зрошуваних ґрунтів – близько 1,5 млн га – має природні або антропогенно викликані ознаки солонцюватості). Крім того, частина зрошуваних ґрунтів забруднена важкими металами, схильна до формування кірки або переущільнена.

### **За осушення**

Спеціальний моніторинг осушених ґрунтів здійснюється приблизно в такий же спосіб, що й зрошуваних ґрунтів. Для цього на всіх осушених масивах створена постійна мережа спостережень (площадок і скважин). Звичайно мережа охоплює зону впливу осушення й прилеглих площ.

Кризові ситуації на осушених землях створюються в результаті

спрацювання торфовищ, дренажування пухкопіщаних глеюватих ґрунтів, верхових і перехідних торфовищ, засолення заплавних земель і солонцевих комплексів, озалізнення, окарбоначування ґрунтів, забруднення важкими металами, залишками агрохімікатів, радіонуклідами, виникнення торф'яних пожеж. Повної інформації про масштаби кризового стану осушених гідроморфних земель поки немає. Проте, узагальнення отриманих даних дозволило в першому наближенні скласти картосхему агроекологічного, у тому числі кризового стану осушених гідроморфних земель (рис. 5.4.2.1), на якій виділено п'ять категорій якості (найбільш висока, висока, середня, низька й дуже низька). У п'яту категорію ввійшли землі кризових ситуацій, а саме: забруднені радіонуклідами землі, вторинно заболочені землі, озалізнені, окарбоначені й засолені землі, вироблені торфовища й спрацьовані торф'яні ґрунти, торф'яні пожежі. На жаль, немає обліку дефляційно порушених земель. Осушені землі із кризовим агроекологічним станом присутні майже у всіх регіонах їхнього поширення. Це землі радіоактивного забруднення, вироблених торфовищ і торф'яних пожеж, сильного озалізнення й окарбоначування осушених земель, переосушених і спрацьованих торфовищ, виходи на поверхню мінеральної породи, вторинного засолення осушених ґрунтів. Серед різних видів кризових ситуацій на осушених землях є види, які характерні тільки для певного геохімічного регіону (наприклад, засолення для Лівобережного Лісостепу, алюмінізація для поверхово оглеєних ґрунтів Прикарпаття й Закарпаття) і види, які присутні в усіх без винятку природних регіонах осушених земель (наприклад, дегуміфікація ґрунтів, спрацювання торфовищ тощо).

Значна частина осушених земель (до 10 %) піддано радіонуклідному забрудненню. Площа вироблених торфовищ досягла 105 тис. га. Це непридатні для сільськогосподарського виробництва землі, які вимагають відповідної рекультивації й вибору напрямку використання.

Кризові ситуації виникають у результаті зняття верхнього

гумусового шару під час культуртехнічних робіт, що приводить до різко вираженої гетерогенності ґрунтового покриву (поява на поверхні світлих малопродуктивних плям ґрунтоутворної породи).



**Рис. 5.4.2.1. Категорії гідроморфних ґрунтів за їх екологічним станом**

На думку Р.С. Трускавецького, що узагальнив наявні матеріали про стан осушуваних ґрунтів Полісся України, дані Держводгоспу звичайно прикрашені насамперед тому, що не враховують всіх явищ деградації в цій зоні. Крім того, погіршуються умови для двостороннього регулювання водно-повітряного режиму й рівня ґрунтових вод.

Наприклад, за даними Чернігівської гідрогеолого-меліоративної експедиції (<http://chggme.org.ua/vyrobnycha/eksplyat.html>), в останні роки отримані численні факти низької ефективності роботи більшості осушувальних систем. Ростуть площі з рівнем ґрунтових вод нижче 1,5 м. Якщо в 2000 році вони становили 29,9 тис. га, то в 2008 році – 83,5 тис. га. Відповідно зменшуються площі із глибиною ґрунтових вод більше 1,5 м. Причина – низький технічний стан внутрішньо- і міжгосподарських дренажних систем і гідротехнічних споруд на них.

Унаслідок підйому ґрунтових вод і просто безгосподарності площі ефективно функціонуючих осушених земель у Поліссі країни поступово зменшуються. За даними Держводгоспу із загальної площі осушених земель 3,170 млн га використовується не більше 0,6 млн га.

### **За хімічної меліорації**

Хімічна меліорація відноситься до числа факторів, здатних зробити значний вплив на фізичні властивості і особливо на структуру ґрунтів. В 30-і роки минулого сторіччя велася жвава дискусія про роль вапнування в поліпшенні структури дерново-підзолистих ґрунтів (Основи агрофізики, 1959), яка, однак, не привела до ясності. З одного боку, вапно коректувало рН, підвищувало мікробіологічну активність і врожай рослин, вимогливих до реакції ґрунтового розчину. З іншого, це слабо відбивалося на поліпшенні фізичних властивостей і, зокрема, структурного складу. Більше того, відразу ж після внесення вапна (особливо в малих дозах) заміна в ґрунтовому вбирному комплексі водню (або алюмінію) на кальцій збільшувала електричний подвійний шар колоїдів, що могло викликати утворення ґрунтової кірки при підсиханні поверхні ґрунту. І тільки більші дози вапна стискали колоїдні міцелли й сприяли формуванню нових агрегатів. У цих умовах підсилювалася гуміфікація й ґрунт у цілому ставав більш окультуреним. При тривалому застосуванні вапна (одночасно з органічними й мінеральними добривами) дерново-підзолисті ґрунти зовсім міняли свій вигляд і властивості й у результаті класифікації могли бути віднесені до нового типу – агроземів, як це відбулося в Білорусі (Н.И. Смян і ін., 2007).

Аналогічні дослідження ми виявили в деяких закордонних публікаціях. На думку R.J. Haynes et al. (1998), тільки тривале внесення вапна в порівняно великих дозах викликає поліпшення структури ґрунтів. У цьому випадку за рахунок іонної сили  $\text{Ca}^{2+}$  електричний подвійний шар колоїдів стискається, у результаті відбувається осадження агентів, що цементують ґрунт і формують структурні агрегати. При малих дозах

вапнування викликає лише диспергацію колоїдів глини й утворення ґрунтової кірки.

Разом з тим, меліорація відповідно до змісту цього поняття дійсно може сприяти істотному поліпшенню властивостей ґрунтів. Більше того, вона здатна, як про це мріяв ще К.К.Гедройц (1975), наблизити властивості ґрунтів до еталону, у якості якого він розглядав чорнозем. Однак, і сам чорнозем у зв'язку з погіршенням фізичних властивостей, втратою зернистої структури й частково гумусу й кальцію має потребу в поліпшенні. Саме тому логічно припустити, що внесення органічних і кальціємістких речовин здатне призупинити деградацію чорноземних ґрунтів. Гіпсування чорноземів (малими дозами по 2-4 ц/га в рядки) було, як відомо, запропоноване О.М. Грінченко й ін. (1958) і експериментально підтверджено в дослідженнях О.А. Чесняк і ін. (1971), В.Д. Мухи (1978) і інших. Так, у роботі Г.Я. Чесняка (1977) рекомендовано для поліпшення структурного стану чорноземного ґрунту вносити 3 т/га кальціємістких речовин один раз в 10 років.

Нами також проведені подібні дослідження (В.В. Медведєв і ін., 1986). Внесення гіпсу разом із гноєм виявилось досить ефективним. Причому, якщо зміст агрономічно корисних агрегатів за результатами сухого просіювання практично не змінювався, то вологостійкість зростала досить відчутно (табл. 5.4.2.1).

Таблиця 5.4.2.1.

**Вплив гіпсу й гною на структурно-агрегатний склад чорнозему типового**

Варіант	Кількість повітряно-сухих агрегатів, %, за їх розміру, мм				Кількість вологостійких агрегатів,%, за їх розміру, мм	
	>10	10-0,25	<0,25	>1	>0,25	>1
Контроль	22,6	74,2	3,2	83,4	57,6	9,3
Гіпс	26,5	69,9	3,6	84,5	52,1	15,6
Гній	21,7	75,7	2,6	85,5	55,5	18,0
Гіпс + гній	20,1	76,2	3,7	82,5	58,2	19,3

Наведені в таблиці дані отримані після 3-місячної експозиції. Дози гіпсу й гною відповідали 3 (розрахунок на CaO) і 30 т/га.

Аналогічні й не менш переконливі дані про вплив гіпсу (разом із гноєм) на структурний стан чорнозему приводить В.Д. Муха (2004). У табл. 5.4.2.2 демонструється помітне збільшення змісту вологостійких агрегатів більше 0,25 мм і зниження ступеня дисперсності особливо на тлі «гній + гіпс».

Як показали результати досліджень, під впливом гіпсу не відбулося істотних змін у загальному вмісті органічної речовини, визначеної за методом Тюрина. У той же час виявлене зниження ступеня рухомості органічної речовини в 0,2 Н розчині NaOH і кількості рухомих гумінових кислот у порівнянні з контролем. Можна думати, саме ця обставина обумовила поліпшення структурного стану чорнозему.

Таблиця 5.4.2.2.

**Вплив гіпсу й гною на структурний стан чорнозему типового**

Варіант	Фактор дисперсності	Вологостійкі агрегати, %		Співвідношення агрегати > 0,25 мм / агрегати < 0,25 мм
		Більше 0,25 мм	менше 0,25 мм	
Контроль	5,1	59	41	1,4
Гній	4,7	60	40	1,5
Гіпс	4,3	62	38	1,7
Гній+ гіпс	3,8	64	36	1,8

Результати вегетаційного дослідження були підтвержені в полі, де також при внесенні гіпсу (і особливо разом із гноєм) відзначалося поліпшення структурно-агрегатного складу. Крім того, явно ефективніше витрачалася волога, і був вище врожай проса.

Особливо важливого значення набуває внесення кальціємістких матеріалів у кислих ґрунтах на нелесових породах. Такі ґрунти, бідні від природи на кальцій, до того ж, схильні до подальших його втрат, тому що перебувають в умовах перезволоження й промивного водного режиму. За

даними, узагальненими А. І. Гуменюком (1968), ґрунти здатні втратити до 500 кг СаО в рік навіть при помірній кількості атмосферних опадів. Для Ротамстедської дослідної станції втрати за 100 років склали майже половину всього запасу ґрунтового кальцію. Аналогічні дані є для ґрунтів Німеччини, Прибалтики, Білорусі. Тому навіть у природних умовах нерідко відзначаються факти посилення кислотності ґрунтів з часом, тому що висхідний потік кальцію через його нестачу у ґрунтоутвірних породах не компенсує вимивання.

Вирощування культурних рослин підсилює дефіцитний баланс кальцію. Досить відзначити, що за середнього врожаю зернові можуть винести до 50 кг кальцію, а трави набагато більше. Також діють і фізіологічно кислі добрива. У літературі є дані Ф.В. Турчина для Люберецького дослідного поля (за А.І. Гуменюком, 1968), що свідчать про повну втрату родючості опідзоленого супіщаного ґрунту при тривалому внесенні сірчанокислового амонію й аміачної селітри.

На жаль, у більшості робіт з вивчення впливу вапнування на властивості ґрунтів приводиться дуже мало даних про зміну фізичних властивостей і структури ґрунтів. Але тут, видимо, варто згадати основні експериментальні роботи О.Н. Соколовського (1919, за 1971) про роль кальцію як вартового ґрунтової структури і її негайному й неминучому погіршенні при зменшенні вмісту в ґрунті кальцію.

У результаті структура, звичайно, губиться й для запобігання цього процесу надто важливо внесення в ґрунт кальціємістких матеріалів.

### **5.4.3. Спустелення**

Незважаючи на популярність тематики опустелювання, велика кількість питань, що його стосуються, залишаються неясними або дискусійними. Вибір і застосування заходів боротьби залежить від причин, типів, індикаторів, ступеню розвитку опустелювання. Тільки дослідження механізмів процесу опустелювання дає підставу рекомендаціям конкретних меліоративних заходів. Рівною мірою вибір і застосування того

або іншого методу боротьби залежить від конкретних особливостей територій, від зміни природних комплексів і від форм і ступеню впливу людей на природне середовище. Наприклад, у Туреччині й Ірані, де опустелювання дуже поширено, у системі заходів з боротьби проти опустелювання важливе місце займають: зміцнення механічними способами рухомих пісків, зміцнення гірських схилів для того, щоб запобігти ерозії, вирощування чагарників, фруктових садів, культурних рослин і т.і., дотримання норм випасання худоби, поліпшення видового асортименту пасовищ, усіякє поліпшення водопостачання, регулювання ґрунтових вод, строге дотримання норм і режимів зрошення й ін.

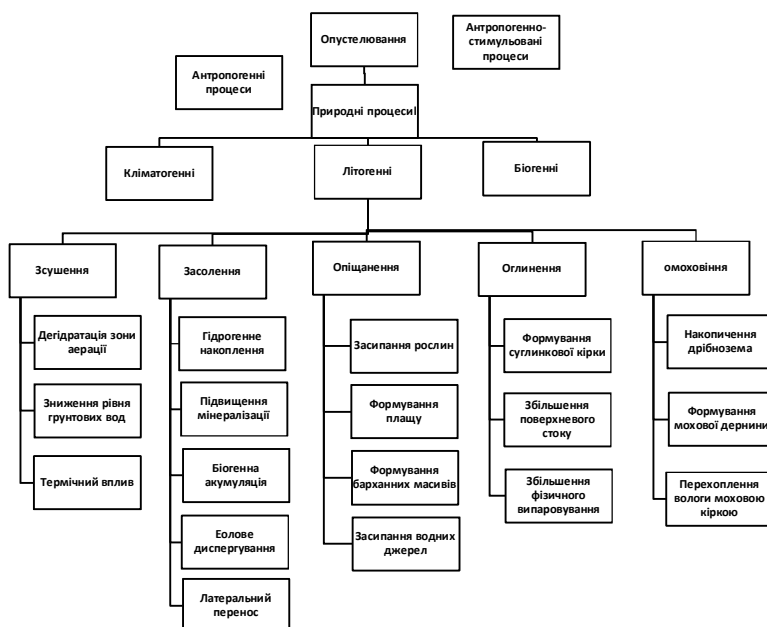
Складність діагностики опустелювання пояснюється значною його регіональною розмаїтістю. Потрібні критерії, нормативи, оцінки інтенсивності, найбільш адаптивні й ефективні способи подолання й всі вони повинні враховувати особливості природних умов і господарської діяльності.

Про те, наскільки складна проблема опустелювання, різноманітні процеси і механізми, що її супроводять, свідчить узагальнення, здійснене П.Г. Гуніним (1991) - табл. 1.3.1. Основними найпоширенішими формами прояву опустелювання вважаються висушування, засолення, оглинення, опіщанення і омоховіння. Висушування відноситься до комплексної форми і визначається як ендегенними, так і екзогенними причинами, що обумовлюють суксесійний розвиток екосистем. Процеси засолення, оглинення й опіщанення протікають у більшості аридних екосистем і визначаються як гідрогенними, так і літогенними факторами середовища. Свою негативну роль як процесів опустелювання вони починають грати тільки при досягненні у верхніх горизонтах ґрунту або на його поверхні певної кількості солей, фізичної глини, пилу або піску. Омоховіння як форма опустелювання викликається біогенними факторами, але його широка експансія в пустелях пов'язана з господарською діяльністю людини і може бути віднесена із цієї причини до антропогенно

стимульованих процесів (П.Д. Гунин, 1991).

Таблиця 5.4.3.1.

### Процеси та механізми спустелення



Стосовно до України, під опустелюванням варто розуміти комплекс природних і антропогенних процесів, пов'язаних із ксерофітізацією або знищенням природної рослинності, зменшенням біорізноманіття, різними проявами деградації ґрунтового покриву, зменшенням продуктивності ґрунтів. На жаль, в Україні немає систематичної узагальненої інформації про опустелювання. Більше того, в останні роки навіть у науковому середовищі внаслідок значних валових зборів зернових культур нерідко можна почути сумніви в тім, чи є взагалі опустелювання й деградація. У результаті ця проблема не вивчається й недооцінюється. Практично не здійснюються заходи проти ерозії, переущільнення, перезволоження, посухи, підкислення, осолонцювання, практично припинена лісова меліорація.

#### 5.5.Особливості прояву деградації в природних зонах України

##### Полісся

Ґрунти Полісся, з огляду на переважний піщаний і супіщаний грансклад, 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 (внаслідок високої вихідної рівноважної щільності будови). Ці ґрунти в силу домінування піщаної фракції сприяють абразії (зношуванню) робочих органів ґрунтообробних машин, а за швидкого наростання температур навесні схильні утворювати кірку. Домінуючі в Поліссі слабо структурні ґрунти, до того ж, схильні до розпилення й вітрової ерозії за інтенсивного механічного обробітку. Підвищена кількість атмосферних опадів, наявність знижень у рельєфі й ілювіальні горизонти, 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 також обмежує глибину обробітку й обумовлює необхідність застосування додаткових заходів з окультурення ґрунтів, якщо глибину обробітку потрібно збільшити. Таким чином, у Поліссі формуються специфічні вимоги до особливостей землеробської практики, вибору адаптованих до даних умов культур, сівозмін, обробітку й добрив. Легкий грансклад визначає для Полісся інтенсивну систему землеробства, насичену численними й різноманітними агрозаходами. Можливості для мінімалізації тут обмежені.

З огляду на значну просторову строкатість у межах поля сівозміни індикаторів обробітку (структурного складу, щільності будови і твердості) у Поліссі існують значні перспективи розвитку точного землеробства, особливо в період підготовки посівного шару й основного обробітку. Брилистість, вміст агрономічно корисної структури, глибина й ступінь прояву плужної подошви – всі ці властивості характеризуються достовірною просторовою варіабельністю й на тій або іншій частині поля

мають сприятливі параметри, що утворюють досить певні можливості для економії ресурсів (Неоднорідність ґрунтів..., 2009).

### **Лісостеп**

Ґрунти у Лісостепу внаслідок одночасно більш високого рівня гумусованості й сприятливих фізико-хімічних властивостей мають виражену структурність і, головним чином, завдяки цьому характеризуються цілим рядом позитивних якостей. Вони мають оптимальний рівень щільності будови, гармонічне поєднання пор різного функціонального призначення, досить тривалий період перебування ґрунтів у стані фізичної сплості. Остання обставина сприяє високоякісному обробітку посівного шару у весняний період. У ґрунтах Лісостепу практично не діють фактори, що ускладнюють обробіток (щебенюватість, солонцюватість, оглеєння). Разом з тим, знижений рівень вихідної рівноважної щільності робить ґрунт середнього гранскладу дуже чутливим до переущільнення під дією ходових систем сучасних мобільних машинно-тракторних агрегатів, особливо у весняний період. Загальною особливістю землеробської практики на суглинкових ґрунтах є мінімізація агротехнологічних операцій (зменшення їхньої частоти й глибини) з метою максимально можливого зниження механічного навантаження на ґрунт. У цьому випадку небезпека переущільнення, розпилення й утворення брил усувається.

Тут потрібні й інші профілактичні заходи щодо збереження сприятливого рівня структури. Доцільні також і заходи, спрямовані на максимальне забезпечення рослин поживними компонентами, тому що на відміну від механічної, хімічна (екологічна) стійкість суглинкових ґрунтів висока.

У цілому можливості мінімізації обробітку в Лісостепу максимальні. Домінуючі тут суглинкові гумусовані, оструктурені, несолонцюваті, неоглеєні й помірно ущільнені ґрунти в найбільшій мірі придатні для впровадження нульового обробітку, тобто, повної відмови від

обробітку взагалі. Тут і без обробітку складаються близькі до оптимальних фізичні умови в кореневмісному шарі. Більше того, для цих ґрунтів перспективні нові ґрунтообробні знаряддя, здатні оптимізувати структурний склад і щільність будови в насіннєвому й піднасіннєвому шарах у початкові найбільш відповідальні етапи розвитку рослин.

У Лісостепу цілком певні перспективи має точний обробіток, особливо для опідзолених ґрунтів, схильних до формування просторової варіабельності структурного складу в посівному шарі (особливо брилистості) і не суцільного характеру прояву плужної підшви.

### Степ

Ґрунти Степу – найбільш важкі в землеробському аспекті. Вони також строкаті в технологічному відношенні, причому складність умов чітко наростає до півдня й до сходу, де відповідно солонцюватість і щебенюватість не сприяють якісному обробітку. Крім того, позначається важкосуглинковий і глинистий, як правило, гранулометричний склад. Саме ці якості ґрунтів роблять обробіток в Степу найбільш витратною операцією. Головні проблеми, які створює важкий грансклад – 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 найбільша в Степу) і підвищена небезпека прояву дефляції підсилює їхні негативні характеристики. У цілому умови для ощадливого і якісного обробітку ґрунтів у цій зоні істотно гірші, ніж у Лісостепу. Тут необхідно більше уваги приділяти складанню агрегатів при виконанні машинно-тракторних операцій, їхньому нормуванню, оплаті праці механізаторів. Можливості мінімалізації обробітку в Степу помірні й незрівнянно менші, ніж у Лісостепу. Також помірні можливості для точного обробітку, хоча інформації про просторову варіабельність відповідних індикаторів для цих ґрунтів недостатньо.

## 5.6. Економічні, екологічні і соціальні наслідки

Отже, тривале сільськогосподарське використання ґрунтів і особливо оранка приводить до глибоких змін у їхній структурі, будові, процесах мікро- і особливо макроагрегації, фізичних і водних властивостях. Найбільш важливим представляється майже відсутній на цілині своєрідний пульсаційний процес зміни основних компонентів будови, за якого в ґрунті відразу після обробітку різко збільшується повітроємність, зменшується частка твердої фази в одиниці об'єму, а потім за рахунок релаксаційних процесів відбувається відновлення рівноважної щільності до більш високого рівня, чим на цілині. Наслідком цього є, видимо, такий же пульсаційний хід всіх інших процесів, функціонально пов'язаних із щільністю будови ґрунту. У результаті орний ґрунт помітно відрізняється багатьма фізичними параметрами від цілини.

Не менш важливі зміни хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей, з яких потрібно підкреслити зміни реакції ґрунтового розчину, ємності поглинання, співвідношення обмінних катіонів, мікробного пула і мікробіологічної активності. Про правомірність висловлених міркувань можна судити з великої кількості різноманітних публікацій, наприклад, з фундаментального узагальнення, виконаного за редакцією В.А.Ковди та О.М.Самойлової «Русский чернозем. 100 лет после В.В. Докучаева» (1983).

Розходження між природним і орним ґрунтом виявилися настільки суттєвими і стійкими, то це дозволило стверджувати - під впливом тривалого землеробського використання природний ґрунт трансформується в агроґрунт, має принципово інші властивості і режими і цілком може називатися новим полігенетичним (природно-антропогенним) утворенням. Підставою для такого твердження послужили результати порівняння мікробудови пор і агрегатів, горизонтального, вертикального й часового профілів, а також, головним чином, фізичних властивостей.

Особливості агроґрунту як нового ґрунту в порівнянні із цілиною:

анізотропність, бімодальність порового простору, консолідація ґрунтових агрегатів, сезонна і багаторічна динаміка щільності будови і властивостей, порушення оборотності ґрунтів унаслідок часткової утрати і лабілізації органічної речовини, виникнення нових горизонтальних, вертикальних і часових профілів і аридизація. Аґроґрунт втрачає здатність відновлювати властиві йому модальні, характерні для природного аналога, параметри. Внаслідок посилення просторової неоднорідності (гетерогенності) для аґроґрунту характерний поступовий перехід від континуальності до дискретності ґрунтового покриву, і в цілому - локальне послаблення дернового - стосовно до чорноземів - процесу ґрунтоутворення. Аґроґрунт як новий тип ґрунту вимагає відбиття в номенклатурі та класифікації, урахування в районуванні і диференційованої системи використання.

Полігенетичність - основна причина формування аґроґрунтів. Аґроґрунт - продукт природних, економічних (виробничих, технологічних) і соціальних факторів. Сьогодні людина і його діяльність на землі стає провідним чинником формування нових ґрунтів.

Еколого-генетичні й агровиробничі наслідки деградації на прикладі чорноземних ґрунтів відбито у табл. 5.6.1 і 5.6.2.

До цього можна додати не розглянуті інші несприятливі еколого-генетичні наслідки деградації, а саме: погіршення якості поверхневих вод і питної води, відмічена в країнах з підвищеним рівнем оранки - південний схід Великобританії, південні регіони Норвегії, Швеції, райони центральної й східної Європи (В.В. Медведєв, 2010).

На жаль, деградація має не тільки еколого-генетичні негативні наслідки. У гіршу сторону міняються практично всі властивості й режими ґрунтів, що не може не відбитися на врожайності сільськогосподарських культур.

**Еколого-генетичні наслідки деградації  
на прикладі чорноземних ґрунтів**

<b>Критерії</b>	<b>Зміна змісту й спрямованості процесів</b>	<b>Наслідки</b>
Гуміфікація – мінералізація	Нагромадження усередині агрегатів продуктів неповного розкладання і їхнє включення в гумусові сполуки	Ослаблення чорноземного процесу ґрунтоутворення
Мікробіологічна й біохімічна діяльність	Зниження активності	Часткова (мозаїчна) абіотизація внаслідок підвищення рівноважної щільності
Трансформація елементів у системі «тверда фаза – розчин»	Звуження співвідношення «ґрунт-розчин», збільшення обсягу термодинамічно зв'язаної вологи й елементів	Консервація елементів в агрегатах, зниження їх висхідної й спадної міграційної здатності
Перетворення речовин у рамках великого й малого колообігів	Зменшення швидкості перетворення речовин, маси речовини, що бере участь у перетворенні, глибини «активних» шарів	Ослаблення чорноземного ґрунтоутворення
Твердий і рідкий поверхневий і внутрішньо-ґрунтовий стік	Просторова диференціація речовин у ландшафті	Посилення ерозії
Забруднення знижених елементів ландшафту й водойм	Перенесення забрудників	Акумуляція забрудників і підвищення ймовірності екологічного ризику

Далі спробуємо, використовуючи власні і літературні дані, знайти поправні коефіцієнти, які унормовують зниження родючості ґрунтів (за врожайними даними) від дії різноманітних деградаційних процесів. Нам удалося зібрати чимало експериментальних оцінок зниження продуктивності ґрунтів від дії негативних факторів. На жаль, деяких з них явно недостатньо, для того, щоб виробити обґрунтовані поправні коефіцієнти до родючості вихідного ґрунту, не порушеного дією негативних процесів. Це стосується дії кірки, вітрової ерозії, забруднення.

**Агровиробничі наслідки деградації  
на прикладі чорноземних ґрунтів**

<b>Критерії</b>	<b>Основні напрямки змін</b>	<b>Наслідки</b>
Агрохімічні властивості й поживний режим	Зменшення доступності елементів живлення	Погіршення трофності ґрунту
Водно-повітряні властивості, режим вологи й повітря	Погіршення надходження вологи в агрегати, зменшення вологоємності, доступності вологи рослинам, посилення фізичного (непродуктивного) випару	Аридизація ґрунтового профілю
Фізичні, фізико-механічні властивості, умови для обробітку й оструктурення ґрунтів	Зміцнення ґрунту й окремих агрегатів, зменшення міжагрегатного простору, погіршення процесу розуцільнення маси	Зниження агрономічної цінності ріллі
Умови для росту й розвитку кореневих систем	Зменшення загальної маси коріння, їхнє зосередження у верхній частині профілю, домінування тонких корінь малих порядків	Погіршення морфологічних, фізіологічних, ґрунтозахисних і продуктивних показників кореневих систем
Умови для росту й розвитку надземних частин рослин	Відставання в появі сходів, настанні інших фенофаз, зниження врожаю	Погіршення якісних і кількісних показників урожаю

У той час оцінки зниження родючості від водної ерозії, підкислення, осолонцювання, засолення здаються цілком надійними. Загальну закономірність зниження родючості можна виразити так: слабкий ступінь - у межах 10-15 %; середній - 15-30 %; сильний - вище 30 (40) %. Відповідно до цього визначені поправні коефіцієнти. Якщо поправний коефіцієнт досягає значної величини, використання такого ґрунту в ріллі стає недоцільним. Тому у всіх випадках підвищена величина поправного коефіцієнта може використовуватися як важливий аргумент на користь виведення такого ґрунту з ріллі.

У таблиці 5.6.3 і на рис. 5.6.1 ми спробували узагальнити знайдені дані. Для помірних ступенів зниження родючості (слабкої й середньої) отримані дані в більшості випадків підтверджуються експериментом, для

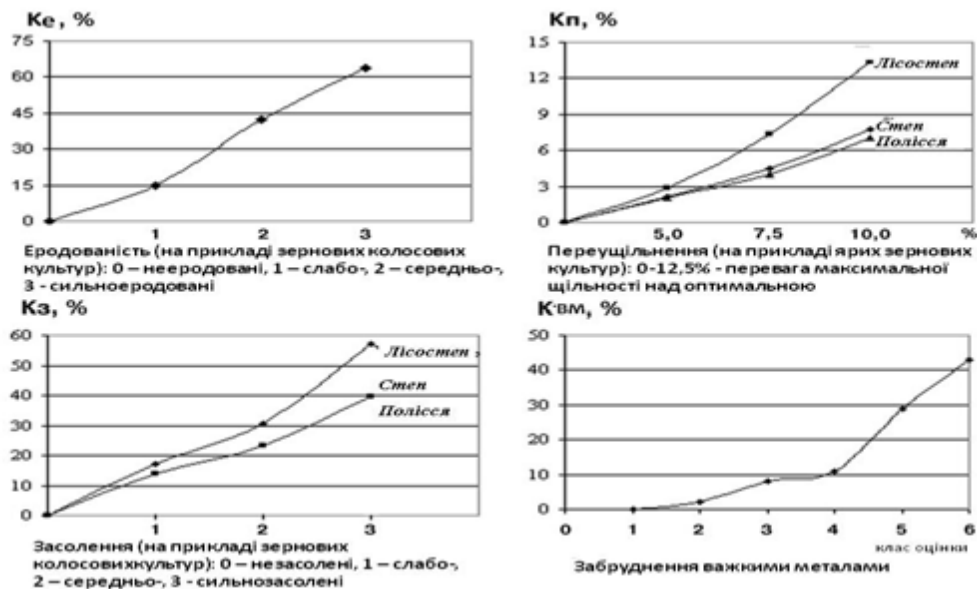
найбільш сильного ступеня - найчастіше вони приблизні, експертні, тому що, сильний ступінь зниження родючості - недостатньо ясна категорія, до того ж для багатьох факторів вона важко діагностується. Однак у всіх випадках такий ступінь супроводжується найбільш високим поправним коефіцієнтом. Добре помітно, що деякі фактори на тлі слабого ступеня прояву коректують родючість незначно. Більше того, у цьому випадку зниженням родючості можна навіть зневажити, тому що поправні коефіцієнти невеликі. При посиленні ступеня прояву негативних процесів поправні коефіцієнти, як правило, стрімко ростуть, а для таких процесів як перезволоження, підкислення, кірка - настільки швидко, що роблять не вигідним використання таких ґрунтів у ріллі. Тут треба або застосовувати меліоративні заходи, або дійсно вивести ґрунт із ріллі під пасовище або під залісення.

Разом з тим підкреслимо: зібрані нами поправні коефіцієнти мають потребу в перевірці, зональній диференціації, урахуванні особливостей культур, які, як відомо, здатні їх істотно коректувати.

Особливості трансформації ґрунтів за деградації. Виходячи з порівняння структурного складу, щільності будови і деяких інших властивостей на цілині і ріллі, варто визнати, що всі давньоорні ґрунти варто вважати деградованими. Для цього досить звернутися до табл. 5.6.4, щоб переконатися, які істотні втрати агрономічно корисної структури, її водостійкості та зміни інших властивостей на ріллі в порівнянні із цілиною. Це значить, що такий висновок буде справедливий для всіх орних ґрунтів Лісостепу і Степу країни, принаймні, для тих з них, які перебувають у ріллі не менше 100 років, тому що саме такого віку рілля була об'єктом нашого дослідження (Сумська область, чорнозем типовий середньосуглинковий, Михайлівська цілина і суміжна з нею рілля).

**Зниження родючості ґрунтів від дії негативних факторів (середні дані для орних ґрунтів України, на прикладі зернових колосових культур)**

Фактор, що знижує родючість ґрунтів	Ступінь зниження родючості					
	слабкий		середній		сильний	
	%	поправний коефіцієнт	%	поправний коефіцієнт	%	поправний коефіцієнт
Водна ерозія	15-20	1.18-1.25	35-55	1.54-2.22	60-65	1.67-2.86
Вітрова ерозія	10	1.11	15	1.18	>15	>1.2
Кірка	15-20	1.18-1.25	20-50	1.25-2.00	>50	2-3
Переуцільнення	10	1.09	25	1.20	40-50	>1.40
Перезволоження	10-15	1.25	20-30	1.40-1.50	>50	>2.00
Підкислення	10	1.10-1.15	20-30	1.30-1.40	>30	>1.50
Засолення	12-18	1.15-1.20	20-35	1.25-1.35	>40	>1.50
Осолонцювання	20-30	1.40-1.50	40-50	2.00-2.50	60-80	>2.50
Забруднення важкими металами	5-10	1.02-1.10	15-20	1.11-1.19	>30	>1.40
Забруднення нафтопродуктами	20	1.25	30-40	1.30-1.50	>50	>2.00
Наявність каменів	15	1.18	30	1.40	>60	>2.50
Рекультивовані ґрунти	40-50	1.40-1.60	60-80	1.50-2.00	85-90	>5.00
Опустелення	20	1.40	20-30	1.40-1.50	>30	>1.50



**Рис. 5.6.1. Поправні коефіцієнти на зниження родючості ґрунтів від дії негативних чинників**

Таблиця 5.6.4.

**Усереднені параметри 0-30 см шару цілинного (природного) і давньоорного (деградованого) чорнозему типового середньосуглинкового (Сумська область)**

<b>Параметри, одиниці виміру</b>	<b>Природний ґрунт</b>	<b>Деградований ґрунт</b>
Структура:		
брилистість (>10 мм), %	5-7	18-20
агрономічно корисні агрегати ( 10-0,25 мм), %	80-85	50-60
пил (<0,25 мм), %	8-10	14-16
коефіцієнт водостійкості	0,7-0,8	0,5
механічна міцність агрегатів,%	92	66
Щільність будови:		
під час сівби ярих культур, г/см <sup>3</sup>	1,0-1,1	1,1-1,2
рівноважна, г/см <sup>3</sup>	1,1-1,2	1, 2-1,3
Уміст гумусу, %	6,3	4,6
Водопроникність за рівноважної щільності:		
за 6 годин, мм/година	65-70	50-52
коефіцієнт загасання	1,1-1,2	3,5-4,0
Фактор дисперсності	4,0	7,5
Ґрунтово-гідрологічні константи за рівноважної щільності, %:		
ВЗ	11,0-11,5	12,0-12,5
ВРК	16,0-17,0	18,0-19,0
НВ	25,0-26,0	24,0-25,0
ДАВ	9,0	6,0
Мікробудова агрегатів і пор:	0,40-0,50	0,10-0,25
коефіцієнт оформленості	5-6	2-3
порядковість		
співвідношення агрегатів високого й низького	15:5	10:10
порядків	8	32
кількість неагрегованого матеріалу в порах, %		

Важлива діагностична ознака деградації – порівняно тривалий період, що потрібно ґрунту щоб відновити властиві йому показники в природних умовах. Для цього потрібно не менш 15-25 років, тому що тільки за цей час можуть поступово сформуватися характерні для цілини процеси трансформації органічної речовини і гуміфікації і розуцільнитися консолідовані агрегати. Як доказ того, що потенційні можливості

давньоорного чорнозему до реанімації структури зберігаються, служать результати розрахунків фактора дисперсності Н.А. Качиньського, які на ціліні й ріллі практично однакові.

**Водна ерозія і дефляція.** Ерозія ґрунтів відома тисячі років. Адже терасування схилів як протиерозійний захід вже застосувалося у Римській імперії, а в долині річки Мозель є виноградники на терасах ще з романських часів, яким більше 1000 років. Так само в Іспанії тераси віком 300-400 років, було побудовано за майже сучасними розрахунками. Не менш цікава історія вивчення ерозії в Росії, СРСР і в Україні. Ми можемо впевнено стверджувати, що ерозія – найбільш популярна проблема в ґрунтознавстві і землеробстві. Наукові конференції з ерозійної тематики – найбільш багатолюдні, а їхні праці цілком співставні з матеріалами з'їздів.

Зусиллями багатьох учених проблема ерозії набула актуальності, але не стала пріоритетною. Особливо останнього часу, коли обсяги наукових робіт значно скорочено, майже не ведуться польові експериментальні спостереження. Не зважаючи на численні наукові опрацювання і безперечні досягнення, багато теоретичних і практичних фундаментальних питань залишається без відповідей. Зокрема, тривають дискусії щодо процесів діагностики руйнування ґрунту, регіональні особливості, інтенсивність ерозії. Тому, підкреслимо, побудувати сучасний захист ґрунтів від ерозії на основі застарілих і методично недосконалих матеріалів дуже важко. Для цього треба передбачити обов'язковий контроль процесу ерозії. Через те, що в країні не провели повторного ґрунтового обстеження і фактично не має тривалих спостережень за процесом ерозії у різних природних і господарських умовах, нема й даних про реальні масштаби ерозії. Тому гостро потрібні польові експерименти на постійних майданчиках хоча б в основних природних зонах. Треба задіяти методично більш коректний підхід до визначення протиерозійної характеристики ґрунту. Нагадаємо, що ерозія виникає тоді, коли кінетична енергія води чи вітру перебільшує структурну зв'язність чи опір ґрунту до зсуву. Але ці

фундаментальні характеристики не вивчають в наших лабораторіях. Тому при оцінці протиерозійної характеристики ґрунту і у багатьох моделях, що намагаються описати цей процес, використовують посередні властивості (уміст гумусу, грансклад, поглинні катіони тощо), які пов'язані з ерозією слабо, а інколи дають про протиерозійну стійкість ґрунту навіть спотворене уявлення. Наприклад, чорнозем за умістом гумусу, глини, кальцію, наявністю агрегатів і їхньою водостійкістю можна було б назвати ідеально стійким ґрунтом. Але у дійсності через підвищені параметри міжагрегатної пористості він схильний до руйнування і зсуву навіть за невеликих механічних навантажень. Тому у дослідженнях з ерозії потрібні систематичні фізико-механічні вимірювання. Доходить до парадоксу: у відомій гідромеханічній моделі Мірцхулави ґрунт позначається одним коефіцієнтом, а всі його особливості просто ігноруються. І це не якийсь там рядовий вчений – це беззаперечний авторитет, академік, на роботи якого посилаються майже усі ерозіознавці. До речі, у відомій і більш прогресивній американській моделі WEPP передбачено використання фізико-механічних параметрів, але наші винахідники і тут вдалися до спрощення і посередніх оцінок замість прямого оцінювання. Отже, при вивченні ерозії треба вживати методи, які дають адекватне, а не спотворене уявлення про процес.

За даними суцільного обстеження поширення водно- і дефляційно еродованих ґрунтів в Україні значне (табл. 5.6.5-5.6.6, рис. 5.6.2 – 5.6.5). До того ж, якщо врахувати, що чимало площ, розташованих на схилах, продовжують розорювати без попереднього терасування, то площа еродованих земель може зрости.

Найбільшу стурбованість відносно водної ерозії ґрунтів викликають райони Донбасу й у смузі уздовж границі Лісостепу з Північним Степом. Крім того, у такій же мірі це стосується й Малого Лісостепу й ще деяких районів.

Нагадаємо, що раніше було встановлено: якщо коефіцієнт

еродованості перевищує 1,15, небезпека ерозії надзвичайно висока.

Передкризовим станом відносно вітрової ерозії характеризуються Львівський і передгірний Лісостеп, північ Лівобережного Полісся, деякі райони Донбасу й Присивашся. Кризовим станом характеризуються Кам'янсько-Бугський район Львівської області, північ Чернігівщини й Сумщини. У Степу - південь Херсонської, центр Запорізької, південний захід Донецької й Луганської областей. Всі зони перебувають у зоні транзиту пилового потоку.

**Ерозійні втрати ґрунтів.** Комбінований обробіток, що залишає хоча б на нетривалий час поверхню ґрунту в пухкому стані ущільнення й без рослинного покриття, тим самим сприяє різкому зниженню її протиерозійної стійкості й виникненню водної або вітрової ерозії. Здатність ґрунтів перелогу до утворення твердого стоку на порядок менше аналогічних показників ґрунтів ріллі (відповідно 0,071 і 0,78 г/с/м), отриманих шляхом штучного дощування (С.Г. Чорний, 2012). У той же час достатньо на поверхні ґрунту залишити 13-20 шт./м<sup>2</sup> відрізків стебел кукурудзи довжиною 15 см або 200-300 шт./м<sup>2</sup> стернин колосових, щоб надійно захистити ґрунт від видування (Э.И. Вешко и др., 1976). Підвищити протиерозійну стійкість ґрунтів і тим самим запобігти ерозійним втратам можна, якщо на поверхні створити нерозмивні атмосферними опадами грудки, або грудки, що не утягуються у вітровий потік, або підтримувати постійний захисний рослинний покрив. Зрозуміло, такі пропозиції стали можливими після проведення численних дослідницьких робіт і їхнього успішного впровадження. Використовуючи приблизно такі підходи з різною регіональною специфікою значною мірою подолали катастрофічні прояви ерозії в США, Канаді, Аргентині, Бразилії, Росії, Казахстані. Ідеальним рішенням питання була б заміна в Україні традиційної комбінованої системи обробітку консервативною або нульовою. Актуальність цієї акції для України вкрай важлива, якщо врахувати, що біля третини ріллі уражено водною ерозією й на 19 млн. га

існує загроза вітрової ерозії. І ще тому, що стійкість ґрунтів до ерозії й інших проявів фізичної деградації, тривалий час підданих плужному обробітку, з часом знижується (В.В. Медведєв, 2013), а ерозійні втрати, виходить, можуть зрости.

Таблиця 5.6.5.

**Еродовані, ерозійно небезпечні та кам'яністі орні ґрунти  
(тис. га)**

Адміністративна область	Схильні до водної ерозії (змиті)		Дефляційно неблагополучні		У т.ч. еродовані вітром		Кам'яністі	
	усього	у т.ч. сильно	усього	у т.ч. сильно	усього	з них сильно	усього	у т.ч. сильно
АР Крим	99,4	2,5	825,4	1,8	145,0	0,6	84,3	0,1
Вінницька	606,0	10,1	59,4	0,3	0,1	0,0	0,4	0,0
Волинська	71,5	10,8	-	-	0,0	0,0	0,0	0,0
Дніпропетровська	851,2	11,1	1690,6	15,3	12,0	0,2	0,3	0,0
Донецька	1110,3	71,4	1494,5	4,4	0,0	0,0	13,0	0,1
Житомирська	58,1	5,6	195,5	5,5	3,5	0,3	8,3	0,0
Закарпатська	8,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	0,0
Запорізька	540,2	76,2	1664,1	5,3	400,5	13,3	0,4	0,0
Івано-Франківська	91,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	17,9	0,0
Київська	134,6	14,6	667,7	6,8	55,5	5,6	0,0	0,0
Кіровоградська	855,7	13,1	983,9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Луганська	895,4	10,2	1265,1	74,1	359,1	11,2	20,2	0,0
Львівська	300,6	39,6	224,4	8,6	41,9	2,3	11,8	0,5
Миколаївська	750,2	22,0	1499,5	0,5	44,0	0,0	4,5	0,0
Одеська	955,1	31,6	1407,8	0,4	0,5	0,1	4,8	0,2
Полтавська	304,5	7,4	372,8	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Рівненська	130,9	35,2	227,8	60,6	5,7	0,2	11,0	0,0
Сумська	227,3	0,6	311,2	1,4	21,2	0,1	0,0	0,0
Тернопільська	334,9	29,8	0,6	0,0	0,0	0,0	15,0	0,2
Харківська	886,1	10,2	906,0	0,6	70,4	0,0	0,2	0,0
Херсонська	226,1	11,4	1569,1	80,4	348,6	3,6	0,3	0,0
Хмельницька	547,4	19,0	25,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,1
Черкаська	306,3	24,2	225,4	1,2	2,8	0,1	0,0	0,0
Чернігівська	143,4	11,3	2,7	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
Чернівецька	50,9	1,4	782,4	7,9	7,9	0,0	0,0	0,0
	10485	477,0	16401	283,3	1518,8	37,8	209,0	1,2

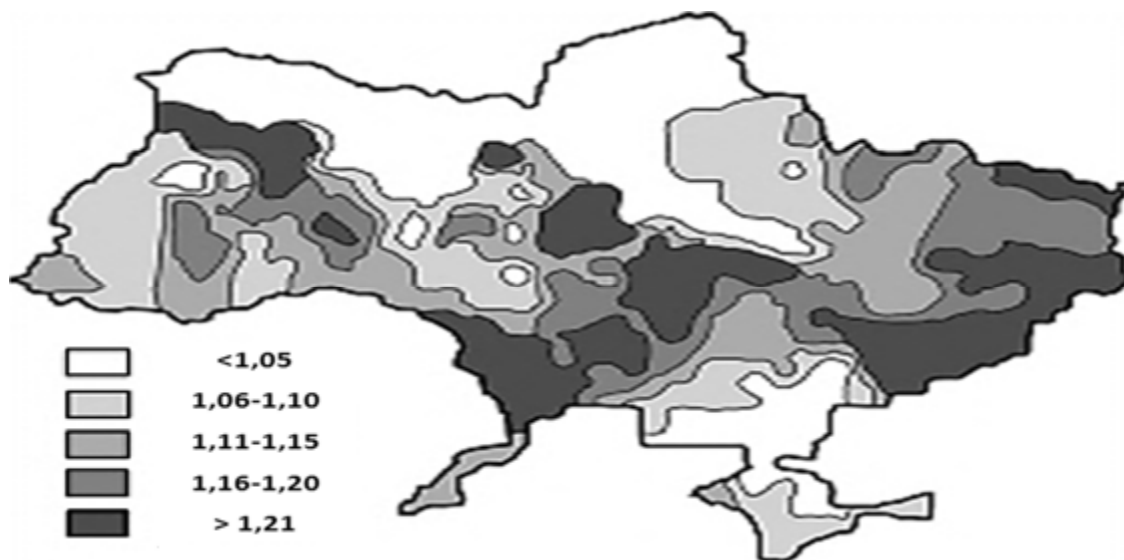
Таблиця 5.6.6.

## Площі ріллі, що розташовані на крутих схилах (тис. га)

Адміністративна область	Площа ріллі, тис. га	
	на схилах від 3° до 5°	на схилах більше 5°
АР Крим	29,3	17,8
Вінницька	252,9	114,9
Волинська	35,6	5,5
Дніпропетровська	107,4	29,0
Донецька	161,0	29,5
Житомирська	19,2	13,2
Закарпатська	12,8	25,5
Запорізька	19,7	1,5
Івано-Франківська	73,9	70,0
Київська	38,9	29,9
Кіровоградська	147,1	42,3
Луганська	180,3	27,2
Львівська	123,8	187,7
Миколаївська	99,8	22,6
Одеська	249,3	130,5
Полтавська	70,4	26,8
Рівненська	41,5	52,6
Сумська	68,8	4,1
Тернопільська	131,4	88,5
Харківська	215,7	46,5
Херсонська	9,3	0,8
Хмельницька	180,5	152,6
Черкаська	101,0	64,3
Чернігівська	75,9	65,2
Чернівецька	14,6	5,8
	2460,5	1254,0



Рис. 5.6.2. Еродованість ріллі в Україні (%)



**Рис. 5.6.3. Коефіцієнт еродованості ґрунтів**

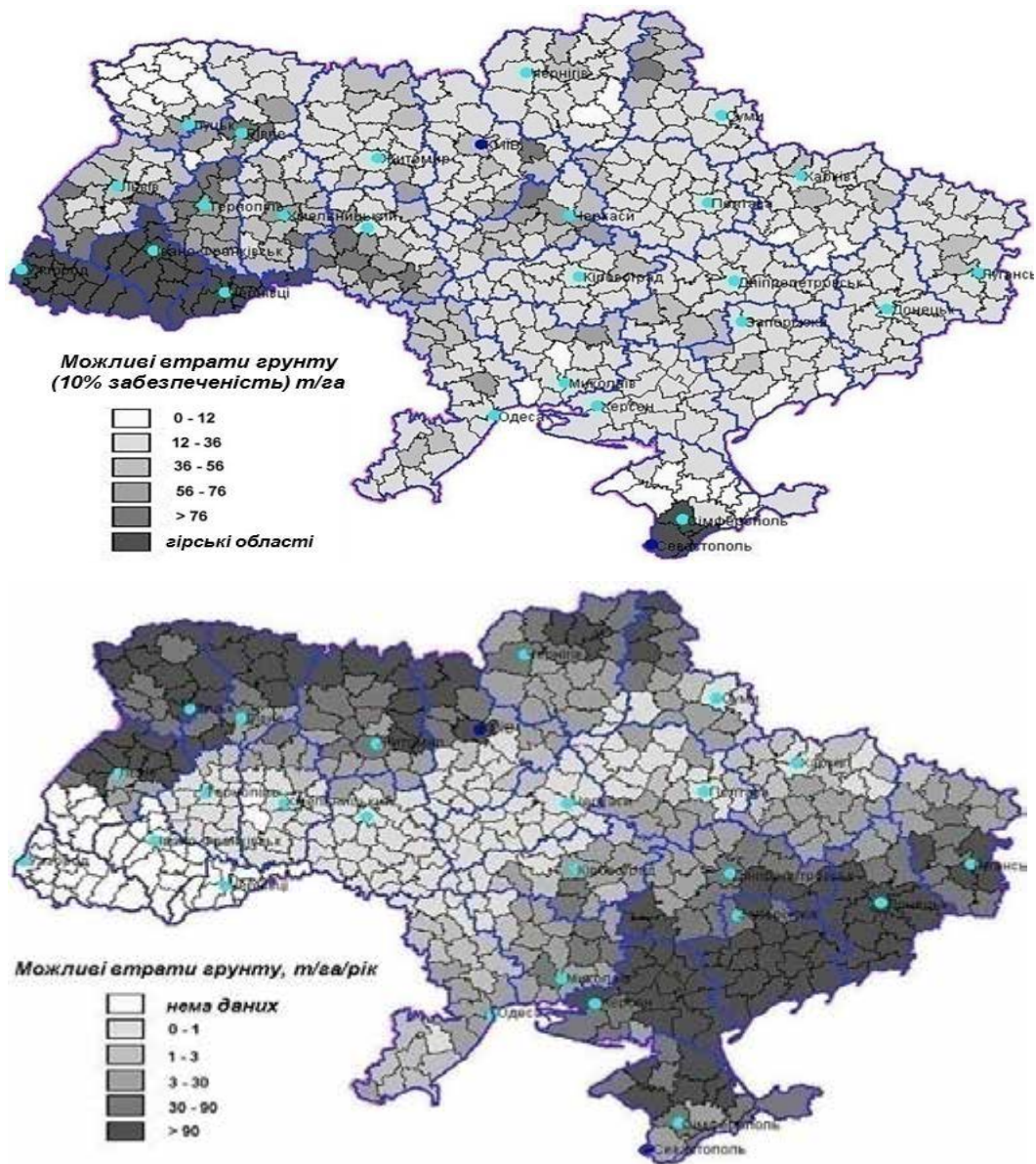


**Рис.5.6.4. Змивання ґрунту 10%-ної забезпеченості (т/га)**

Важливо зауважити, що порівняльні морфометричні дослідження автоморфних і схилових ґрунтів (А.Ф. Яровенко, 1974 і багато інших), швидше за все, привели до перебільшеного уявлення про масштаби ерозії в країні. Багато дослідників відзначають недосконалість морфометричної діагностики еродованих ґрунтів, називаючи схиліві чорноземи то дерновими слабозвиненими, то ксероморфними ґрунтами. У цих умовах в Україні повинні бути створені дослідні ділянки для постійного спостереження за ерозією, тому що тільки спостереження, отримані

безпосередньо у виробництві, можуть бути покладені в основу техніко-економічного обґрунтування протиерозійних заходів. Помітимо, що в США систематичні спостереження за ерозійними процесами здійснюються на майже 2000 площадках. У ФРН їх 192, зростає кількість стокових площадок у Китаї.

У вітчизняних публікаціях ерозію ґрунтів нерідко оцінюють не за фактичним проявом, а лише її потенціальну можливість, небезпеку, ризик.



**Рис. 5.6.5. Ризик прояву водної і вітрової ерозії в орних ґрунтах України**

На деяких картах замість ерозії демонструється співвідношення площ із різними ухилами, або горизонтальна і вертикальна розчленованість рельєфу, або ймовірна небезпека на підставі розрахунків. Ґрунт, розташований на схилі, який має вкорочений профіль через особливості ґрунтоутворення, помилково трактується як еродований. На жаль, роботи багатьох дослідників, у яких була звернена увага на особливості ґрунтоутворення на схилах, пов'язані з іншими в порівнянні з автоморфною територією умовами зволоження і температури, не приймаються до уваги (О.М. Каштанов і ін., 1997). Діагностика еродованості, заснована на морфометрії гумусового горизонту, непридатна. І дотепер через недосконалість діагностики близько 1/3 площі орних ґрунтів України вважаються еродованими. Скільки їх у дійсності, залишається невідомим. І, здається, така невизначеність буде й далі через відсутність коректного методу оцінювання еродованості. «Якщо фактичного зниження потужності ґрунту як природного тіла не відбувається, тобто, видалення його поверхневих шарів компенсуються приростом унаслідок внутрішніх термодинамічних процесів, фіксувати факт ерозійного процесу немає підстав» - написано, на наш погляд, в одній з кращих робіт з ерозії ґрунту останніх років (В.О. Белоліпській, 2012). Тому потрібні регіональні еталони реальної швидкості процесів еродованості і ґрунтоутворення, причому встановлені не експертним шляхом, як це поки здійснюють фахівці з ерозії навіть високої кваліфікації (М.К.Шикула і ін., 1973; Ф.Н. Лисецький, 1987), а експериментально. Можливий і інший шлях - формалізація рівняння ґрунтоутворення Докучаєва-Ієнні, з урахуванням регіональної природної і господарської специфіки.

## ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Типологія, нормативи, причини виникнення і розвитку деградацій ґрунтів
2. Небезпека фізичної деградації у різних ґрунтово-кліматичних зонах України
3. Типи і поширення деградацій у немеліорованих ґрунтах України
4. Деградаційні проблеми в меліорованих ґрунтах
5. Процеси та механізми спустелення
6. Особливості прояву деградації в природних зонах України
7. Економічні, екологічні і соціальні наслідки фізичної деградації ґрунтів

## РОЗДІЛ 6. ПРОГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ У ФІЗИЦІ ГРУНТІВ

### 6.1. Сорбції/десорбції

Перевага в ґрунті мулистих часток визначає його здатність до сорбції (зв'язування) хімічних речовин, і одночасно перешкоджає їхньому проникненню в глибокі шари. Перевага в ґрунті піщаних часток сприяє протилежним процесам - десорбції і фільтрації. Порівняння двох протилежних процесів може скласти основу порівняно простої моделі, за допомогою якої виявляється можливим оцінити і прогнозувати стійкість (або нестійкість) ґрунтів стосовно забрудників. Стійким варто вважати ґрунт, здатний зв'язувати забрудники в нерозчинні форми і перешкоджати їхньому проникненню вглиб ґрунту. Це значить, що ґрунти, збагачені тонкодисперсними частками, органічною речовиною і полівалентними катіонами, будуть стійкішими, ніж ґрунти, в яких перерахованих параметрів менше. У цьому випадку модель повинна описувати екологічну стійкість як прямо пропорційну залежність від перерахованих параметрів. З іншого боку, чим краща в ґрунті фільтраційна здатність, тим вищий ризик забруднення суміжних із ґрунтом середовищ і порушення рівноваги в природі. Інакше кажучи, екологічна стійкість повинна перебувати в обернено пропорційній залежності від фільтраційної здатності ґрунтів. Тому стійкість ґрунтів стосовно впливу забрудника можна спробувати описати наступним рівнянням:

$$K_{y1} = S_{max} / K_f,$$

де  $K_{y1}$  – коефіцієнт стійкості;  $S_{max}$  – сорбційна ємність ґрунтів стосовно забрудника;  $K_f$  – коефіцієнт фільтрації.

У розрахунках максимальні величини сорбційної ємності і фільтрації приймалися за «1». Відношення будь-якого меншого за значенням показника до максимального дозволило одержати безрозмірні величини сорбції і фільтрації. Отримані величини підставляються у формулу і у

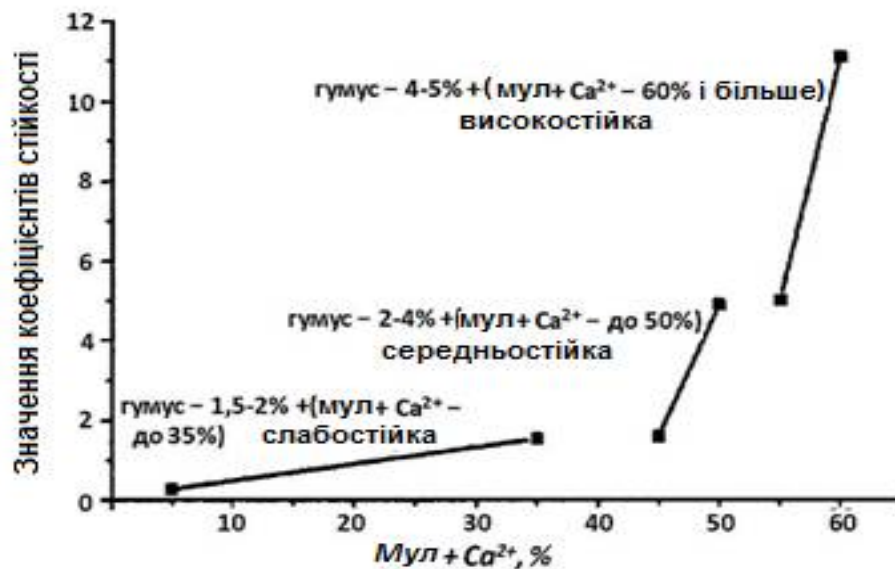
такий спосіб обчислюються відносні коефіцієнти стійкості ґрунтів. Більшому значенню коефіцієнта відповідає найбільш стійкий до впливу хімічного елемента ґрунт.

В ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського» проведено дослідження необхідних параметрів для декількох контрастних ґрунтів (табл. 6.1.1). Крім умісту мулу, додатково враховували вміст гумусу і суму поглинених основ.

Таблиця 6.1.1.

**Фізико-хімічні показники і коефіцієнт стійкості ґрунтів  
(І.О.Хоролець)**

Ґрунт, місце розташування розрізів, глибина відбирання зразків	Глибина верхнього горизонту, см	Гранулометричний склад	Уміст гумусу, %	рН сол	Сума поглинених основ, мг.екв/100 г ґрунту	Коефіцієнт фільтрації, мм/год	Коефіцієнт стійкості
Бурий гірсько-лісовий, Закарпатська обл., Воловецький р-н, 0-20 см	0-45	середньо-суглинковий	2,1	5,2	3,15	20	1,72
Дерново-підзолистий, Житомирська обл., м. Коростень, 0-20 см	0-25	супіщаний	1,4	4,6	1,63	36	0,31
Чорнозем опідзолений, Харківська обл., п. Коротич, 0-20 см	0-42	середньо-суглинковий	5,3	5,6	29,64	29	0,65
Темно-сірий опідзолений, Харківська обл., п.Коротич, 0-20 см	0-40	середньо-суглинковий	3,7	5,5	28,14	25	0,65
Темно-каштановий, Запорізька обл., Приазовський р-н, 0-20 см	0-25	важко-суглинковий	3,1	6,5	26,84	7	4,16



**Рис. 6.1.1. Коефіцієнти стійкості ґрунтів залежно від вмісту гумусу, мулу і поглиненого кальцію**

Як хімічний агент сорбційної і фільтраційної здатності був обраний фосфор у вигляді фосфорнокислого кальцію. Найменш стійким виявився ґрунт зі вмістом гумусу не більше 1,5 %, мулу не більше ніж 5 %, а в сумі з кальцієм до 35 %. Найбільш стійким варто вважати ґрунт із наступними показниками – гумусу біля 4-5 %, мулу – 20 % і вище, а сумарний показник з кальцієм - біля 60 % (рис. 6.1.1).

## 6.2 Транспорт вологи і дрібнодисперсних елементів

Волога здобуває здатність до пересування під впливом градієнта вологості або температури в рідкому або пароподібному стані. Грансклад при цьому має важливе значення, формуючи ті або інші шляхи пересування вологи. Для опису закономірностей спадного пересування вільної (гравітаційної) вологи звичайно використовують закони Костякова і Дарсі. Перший з них придатний для опису фази усмоктування і має такий вигляд:

$$lgVt = lgI - a lgt,$$

де  $Vt$  і  $Vl$  – середні швидкості усмоктування в ґрунт у мм водного стовпа в  $t$ -у хвил. часу;  $t$  – час у хвилинах від початку досліду;  $a$  – показник загасання швидкості усмоктування.

Закон Дарсі, що використовується для опису фільтрації вологи після завершення фази усмоктування, говорить: фільтрація вологи прямо пропорційна гідравлічному напору й зворотно пропорційна висоті стовпа ґрунту, через який проходить волога:

$$Q_w = Kf (\Delta h/l),$$

де  $Q_w$  – швидкість фільтрації вологи, см/доб;  $Kf$  – коефіцієнт фільтрації, см/доб;  $\Delta h/l$  – гідравлічний напір.

Роль гранскладу у фільтрації вологи легко встановлюється навіть із простих візуальних спостережень. У піщаних ґрунтах волога усмоктується відразу ж після її подачі на поверхню ґрунту. Поверхневий шар ґрунту залишається лише злегка вологим. Це і є стикова волога, що втримується в місцях контакту піщинок. У супіщаних ґрунтах, крім стикової вологи, у перші хвилини усмоктування накопичується і капілярна волога, що заповнює частину пор. Через це процес усмоктування відбувається повільніше. У суглинкових ґрунтах ще більше вологи втримується в поверхневому шарі і усмоктування відбувається ще повільніше. Нарешті, у глинистих ґрунтах, особливо в солонцюватих або оглеєних, усмоктування і фільтрації може не відбуватися взагалі і вся волога тривалий час залишається на поверхні ґрунту. Грансклад визначає фактично всі варіанти поведінки вологи в ґрунті. О. А. Роде нарахував таких варіантів п'ять – від швидкого усмоктування до повного застоювання.

Залежно від гранулометричного складу формується різний за обсягом і конфігурацією ефективний поровий простір, різна щільність будови, різна кількість затисненого повітря. Багато з цих факторів

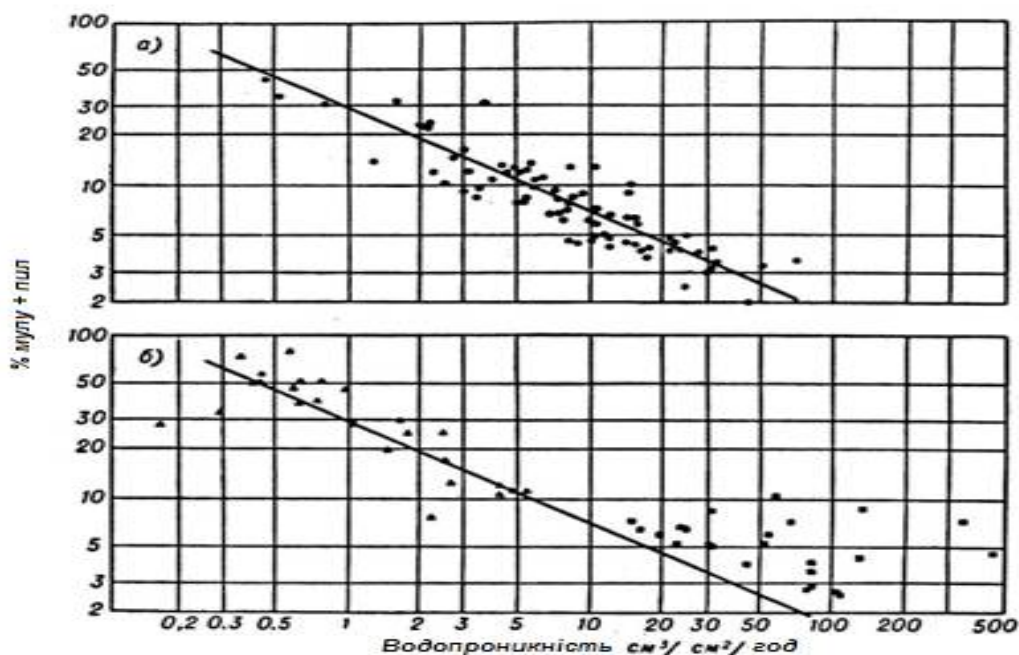
визначають швидкість спадної міграції вологи. Наприклад, додавання пилу і мулу до піску знижувало водопроникність (рис. 6.2.1). Логарифм водопроникності, вираженої в сантиметрах водного стовпа в годину, перебуває у зворотній залежності від умісту суми мулу і пилу за умови, що частки піщаної фракції не крупніше 250 мк. Обробка графіка приводить до формули:

$$DO = 200/M^{1,56},$$

де  $DO$  – водопроникність;  $M$  – сума фракцій мулу і пилу.

Якщо ж розмір піщаних часток перевищує 250 мк, то лінійна залежність порушується (рис. 6.2.1 б).

У ґрунтах суглинкового і глинистого складу при їхньому підсиханні утворюються тріщини і тоді при надходженні вологи формується, так званий, преференційний потік, у якому закони Костякова і Дарсі фактично не діють.



**Рис. 6.2.1. Залежність логарифма водопроникності ( $\text{см}^3/\text{см}^2/\text{година}$ ) від логарифма вмісту суми мулу і пилу**  
 а) ґрунти, у яких переважає тонкий пісок; б) ґрунти, в яких переважає середній пісок із зернами 105-250 мк (трикутники) або крупний пісок із зернами крупніше 250 мк (квадрати)

Взагалі за хаотичного турбулентного потоку, коли волога, не взаємодіючи із ґрунтом, швидко просочується (точніше, провалюється) у глибину, важко встановити які-небудь закономірності в її пересуванні. Між іншим, так само важко інтерпретувати рух вологи в ґрунті за вологості нижче НВ і, особливо, пароподібної вологи під впливом градієнта температур.

У піщаному і супіщаному ґрунтах формуються переважно ламінарні потоки вологи, тут значно зружені можливості для прояву тріщинуватості і преференційних потоків. Волога в цих умовах мігрує суцільним фронтом, повністю заповнюючи пори, або у формі плівок по поверхні часток. О. А. Роде називає такий спадний потік гравітаційною водою, що обтікає.

Якщо кількість вологи в ґрунті менше повної вологоємності і частина порового простору заповнена не водою, а повітрям, виникає так званий ненасичений стан. Частина пор у цьому випадку не транспортує вологу і вологопровідність ґрунту знижується. Для опису пересування вологи закон Дарсі при цьому, як відомо, уже не може бути використаний. Застосовують коефіцієнт вологопровідності для ненасичених умов, або ненасичену гідравлічну провідність, а розраховують її за Річардсом:

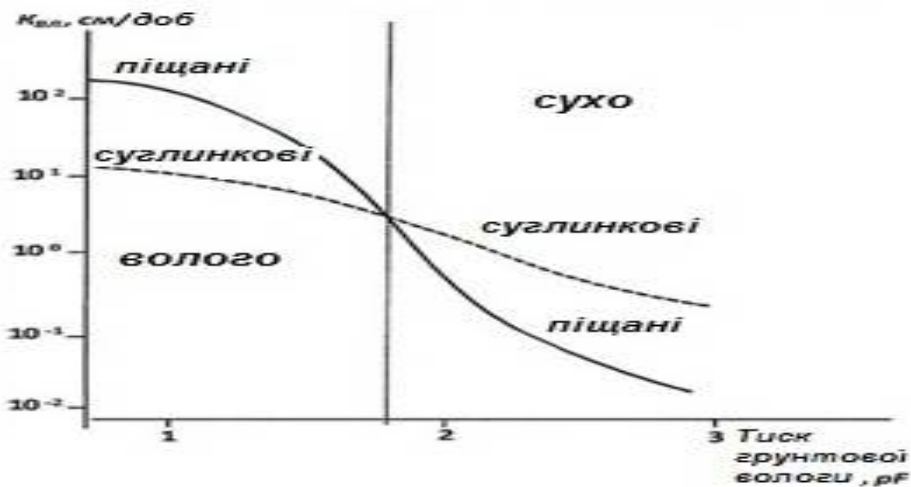
Якщо кількість вологи в ґрунті менше повної вологоємності і частина порового простору заповнена не водою, а повітрям, виникає так званий ненасичений стан. Частина пор у цьому випадку не транспортує вологу і вологопровідність ґрунту знижується. Для опису пересування вологи закон Дарсі при цьому, як відомо, уже не може бути використаний. Застосовують коефіцієнт вологопровідності для ненасичених умов, або ненасичену гідравлічну провідність, а розраховують її за Річардсом:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial z} \{K_{вл} (P_{к-З}) (P_{к-З} - z/z)\},$$

Де  $\frac{\partial \theta}{\partial t}$  – зміна вологості ґрунтів в об'ємних відсотках за період  $t$ ;  $\frac{\partial P}{\partial z}$  – градієнт тиску вологи;  $K_{вл}$  – гідравлічна провідність;  $P_{к-З}$  – капілярно-сорбційний потенціал;  $z$  – шар ґрунту, через який проходить потік вологи.

Залежність функції вологопровідності від гранулометричного складу демонструється на рис. 6.2.2.

Аналізуючи рисунок, відзначимо, що при зміні  $p$  від 0 до 3, тобто, від 0 до 1000 см водного стовпа, коефіцієнт вологопровідності зменшується на 2-3 порядки, від 50-100 до 0,05-0,1 см/доб, причому, в області високих тисків вологи вологопровідність піщаних ґрунтів вища, а в області низьких тисків, навпроти, перевагу мають суглинкові ґрунти.



**Рис. 6.2.2. Залежність коефіцієнта вологопровідності ( $K_{вл}$ ) від капілярно-сорбційного тиску вологи ( $p$ ) і гранскладу**

W. J. Rawls із співробітниками узагальнили дані вологопровідності 1323 ґрунтів США (усього 5350 генетичних горизонтів) і одержали відповідні параметри залежно від гранскладу і насиченості ґрунтів вологою (табл. 6.2.1).

Обробка наведених у таблиці даних і апроксимація отриманих рівнянь регресії дозволила встановити цілком ясні закономірності зміни гідравлічної провідності від гранскладу (рис. 6.2.3).

Надалі автори цього дослідження розробили численні педотрансферні функції, що дозволяють на підставі гранскладу розрахувати (і прогнозувати) гідравлічну провідність і інші водні

властивості ґрунтів (К. Е. Saxton).

Таблиця 6.2.1.

**Гідравлічна провідність, водоутримна здатність і поровий простір ґрунтів США залежно від гран складу**

Клас гран-складу	Кількість зразків	Загальна пористість	Ефективна пористість	Водоутримна здатність		Насичена гідравлічна провідність, см/год
				-0,33 бар	-15 бар	
Піщаний	762	0,437	0,417	0,091	0,033	21
Супіщаний	338	0,437	0,401	0,125	0,055	6,11
Піщано-суглинковий	666	0,453	0,412	0,207	0,095	2,59
Суглинковий	383	0,463	0,434	0,27	0,117	1,32
Пилувато-суглинковий	1206	0,501	0,486	0,33	0,133	0,68
Піщано-важко-суглинний	498	0,398	0,33	0,255	0,148	0,43
Важко-суглинковий	366	0,464	0,39	0,318	0,197	0,23
Пилувато-важко-суглинковий	689	0,471	0,432	0,366	0,208	0,15
Піщано-глинистий	45	0,43	0,321	0,339	0,239	0,12
Пилувато-глинистий	127	0,479	423	0,387	0,25	0,09
Глинистий	291	0,475	0,385	0,396	0,272	0,06

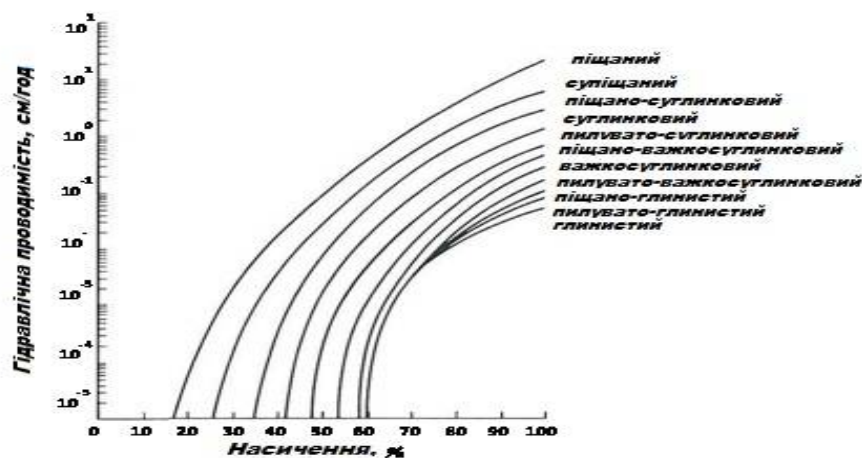


Рис. 6.2.3. Гідравлічна провідність залежно від гранскладу

Раніше була продемонстрована можливість використання гранскладу для розрахунку кривої ОГХ і пов'язаного з нею порового простору. Разом з тим, можливості основної гідрофізичної характеристики набагато ширші. ОГХ або вологісна крива, як залежність умісту води в ґрунті від тиску і на її основі фундаментальна математична модель, може бути з успіхом застосована для опису поведінки води в ґрунті, водоутримної здатності ґрунту, доступності води рослинам, пересування і численних наслідків для фізичних і механічних властивостей ґрунту. Грансклад є провідним чинником формування ОГХ. У літературі запропоновано різні моделі – Гарднера-Симонса, Брукса-Кори, ван Генухтена. Остання модель вважається найбільш удаюю, тому що з її допомогою вологопровідність ґрунту описується досить точно. Модель ван Генухтена має такий вигляд:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left[ \frac{1}{1 + (ah)^n} \right]^m$$

$$\theta(h) = \begin{cases} K_s \frac{[1 - (-ah)^{n-1}][1 + (-ah)^n]^{-m}}{[1 + (-ah)^n]^{m/2}} & h < 0 \\ K_s & h \geq 0, \end{cases}$$

де  $K_s$  – вологопровідність ґрунту в насиченому стані;  $a, n, m$  – експериментально вимірювані параметри вологісної кривої;  $n = 1/(1 - m)$ ;  $h$  – заданий рівень тиску;  $\theta(h)$  – об'ємний вміст води в ґрунті;  $\theta_r$  – залишковий об'ємний вміст води в ґрунті;  $\theta_s$  – вміст води в ґрунті в насиченому стані.

Використовуючи рівняння можна розрахувати вологопровідність ґрунту в насиченому стані за умови, що параметри  $a$  і  $m$  відомі.

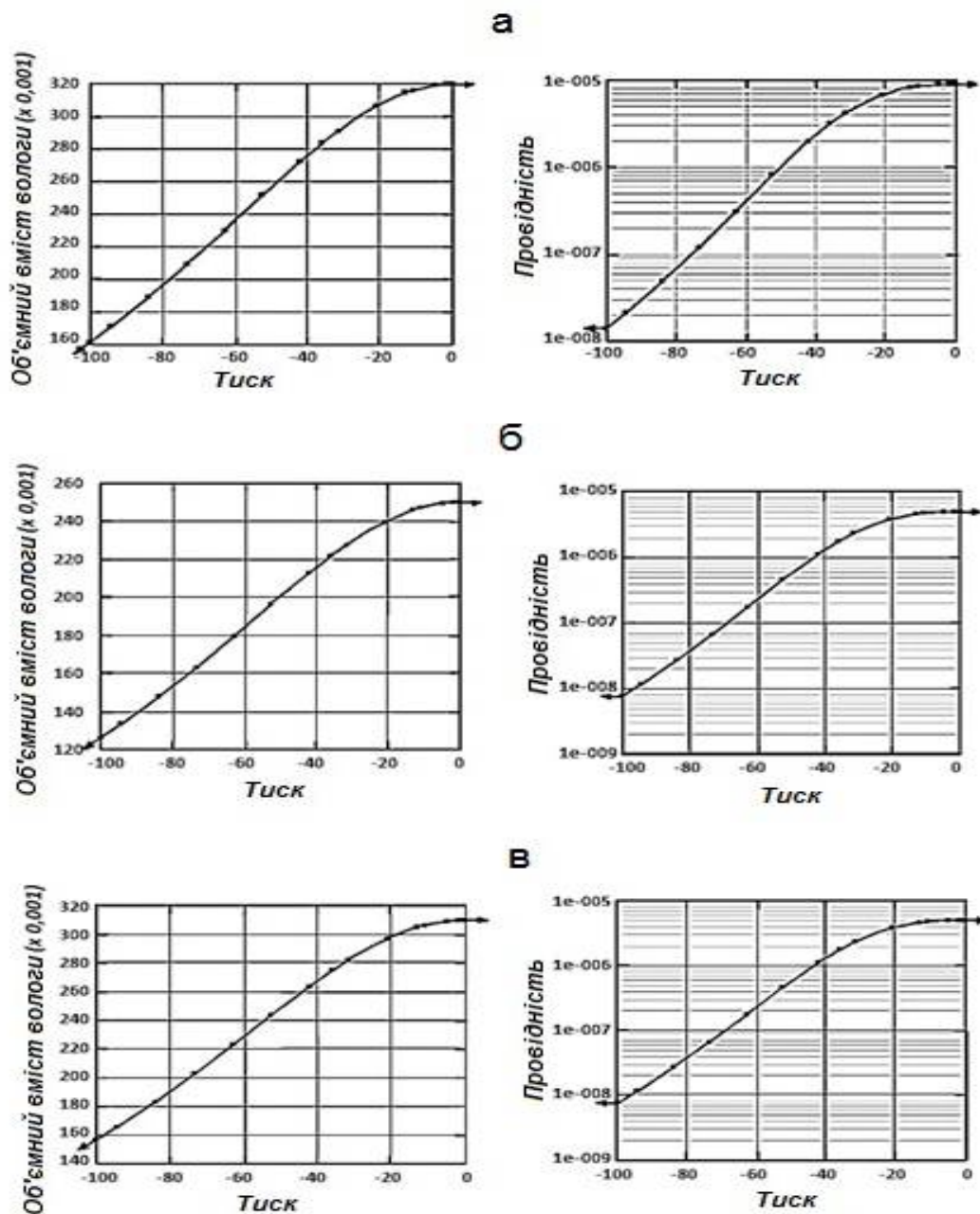
D. Li і інші установили необхідні параметри моделі для мулу, пилу і піску, а потім розрахували вологопровідність цих зразків (табл. 6.2.2).

Таблиця 6.2.2.

### Параметри моделі ван Генухтена для мулу, пилу і піску

Гранулометричні фракції	$\theta_r$	$\theta_s$	$a$	$n$	L (величина напору)	$K_s$
мул	0,05	0,46	2	1,41	0,5	0,11
пил	0,03	0,45	1,6	1,37	0,5	0,06
пісок	0,1	0,38	2,7	1,23	0,5	0,03

Для наведених у таблиці зразків були отримані парні криві. На одній з них демонструється залежність вологи від тиску, на іншій – залежність вологопровідності від тиску (рис. 6.2.4).



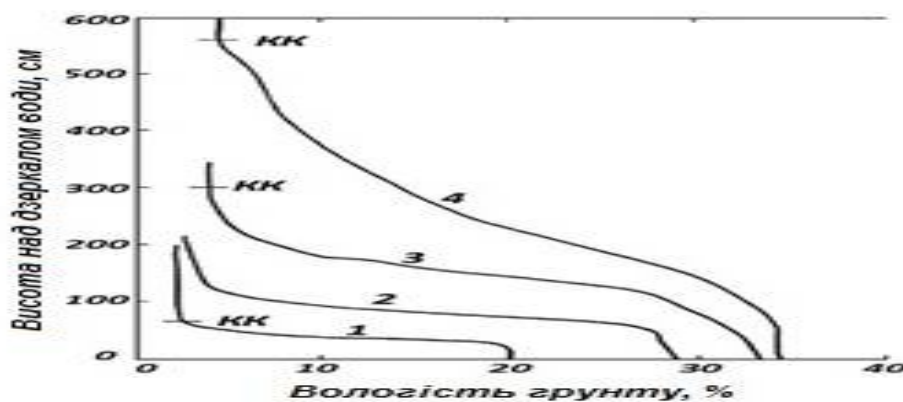
**Рис. 6.2.4. ОГХ і залежність вологопровідності від тиску ґрунтової вологи для мулу (а), пилу (б) і піску (в)**

З наведених кривих випливає, що при тому самому тиску вологи максимум вологи втримує мул, потім пил, мінімум - пісок. У всіх випадках

волопроводність зменшується зі збільшенням тиску вологи. За однакової величини тиску зміни вологопроводності залежать від об'ємного вмісту вологи в ґрунті.

Наприклад, коли тиск вологи дорівнює 1 атм, уміст вологи в мулі досягає 49 %, у той час як у піску – усього лише 8 %. Це значить, що чим більше в ґрунті мулистих часток, тим більше втримується в ній вологи. Причина - численні мікропори, підвищена питома поверхня і абсорбція в порівнянні з пилом і, тим більше, піском. Підкреслимо також, що градієнт кривій ОГХ у мулі відносно вирівняний і зміни згладжені, у піску, навпроти, особливо за низького об'ємного вмісту вологи, зміни вологопроводності більше виражені.

Грансклад значно впливає і на висхідний рух вологи, на висоту капілярної кайми (КК). На цей рахунок існує велика кількість експериментальних даних. Так, в Орешкиної чим дрібніші частки, тим могутніша КК (рис. 6.2.5). Висота КК від максимальної величини приблизно в 5,6 м для часток 0,02-0,01 мм зменшується до 0,6 м – для часток 0,20-0,25 мм. Уміст вологи в КК зменшувався в напрямку від пилу до піску.



**Рис. 6.2.5. Висота і вологість ґрунтів у зоні капілярної кайми залежно від розміру гранулометричних фракцій**  
Розмір фракцій, мм: 1 - 0, 20-0,25; 2 - 0, 10-0,08; 3 - 0, 05-0,03; 4 - 0, 02-0,01

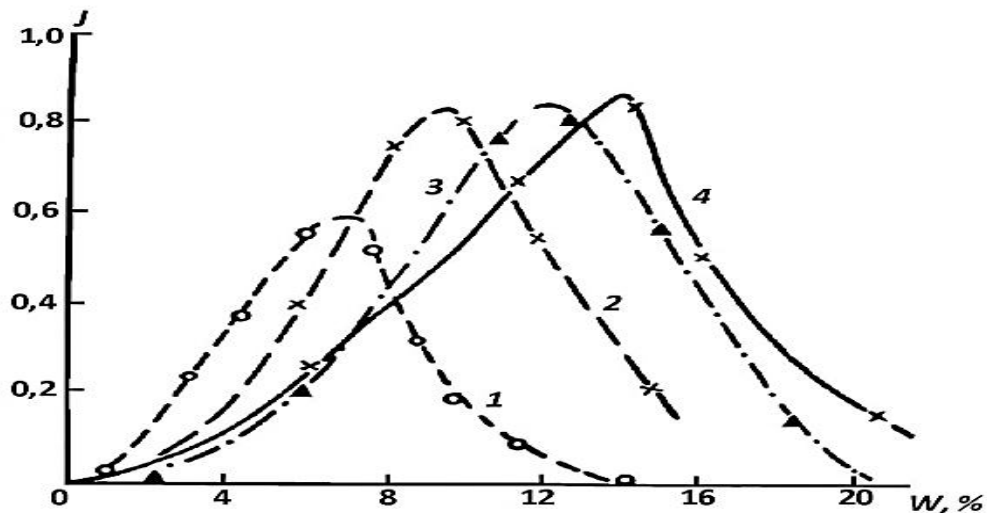
Залежно від упакування часток «ідеальної» ґрунту (гексагональна або кубічна) висота КК підкоряється наступній закономірності:

$$0,41 \leq ДН \leq 1,93,$$

де Д – діаметр часток, мм; Н – висота КК, см.

Перевірка цієї моделі, як указує О. А. Роде, показала, що більшість даних, отриманих на насипних колонках, укладається у встановлені межі.

Випар вологи із ґрунту також залежить від гранскладу. Правда, лише тоді, коли в ґрунті присутня капілярна волога. При більш високому зволоженні, що наближається до повної вологості, випар вологи із ґрунту дорівнює випару з вільної поверхні. При більш низькому – залежить, головним чином, від температурного градієнта. Такий висновок робить О. А. Роде, посилаючись на давню публікацію Буюкоса і сучасну роботу О. М. Глобуса. Інтенсивність переносу пароподібної вологи, за спостереженнями Глобуса, зі збільшенням вологості ґрунту зростає аж до деякої критичної величини, а потім, з подальшим збільшенням вологості зменшується, а при вологості, рівної НВ, перенос вологи практично припиняється (рис. 6.2.6).



**Рис. 6.2.6. Інтенсивність термодифузійного переносу вологи (у г Н<sub>2</sub>О) залежно від вихідної вологості (%) і гранскладу**

Грансклад: 1 - легкий суглинок, 2 - середній суглинок, 3 - важкий суглинок, 4 - легка глина

Критична величина зволоження, що відповідає різкій зміні вологопровідності ( $J$ , г/см<sup>2</sup>/сек) для легкого суглинку дорівнює 6,5, середнього суглинку – 10,0, важкого суглинку – 12,0 і для легкої глини – 14,3 %.

Зрозуміло, основною причиною впливу гранскладу на процес випару служить пористість. Чим вона вища, тим сильніший випар. Тому в піщаних ґрунтах, що мають переважно міжагрегатні пори великого розміру, можливості для випару вищі, ніж у ґрунтах суглинкових, що мають більше складну систему внутрішньоагрегатних і міжагрегатних пор. Тут незрівнянно більше перешкод для висхідного потоку пароподібної вологи. Хоча загальна пористість суглинкового ґрунту набагато вище піщаного.

Важливим є питання про швидкість руху пароподібної вологи залежно від гранскладу. Цікава у зв'язку із цим робота Д. Н. Ончукова, у якій констатується, що швидкість розвитку температурного поля в піску в 4-4,4 рази перевищувала швидкість в глинах. Причина - більш висока температуропровідність піску.

Далі розглянемо міграцію тонкодисперсних часток у профілі ґрунтів залежно від гранскладу. На жаль, експериментальних спостережень такого роду небагато. Переважають непрямі твердження, засновані на вивченні розподілу часток і окислів у профілі ґрунтів, або мікроморфології орієнтованих глин у шліфах. До того ж шліфи, як правило, виготовляються в одній орієнтації і встановити в них конфігурацію і довжину вертикальних пор одного діаметра важко.

Легко припустити, що можливості міграції вище там, де переважають вертикальні циліндричні пори значного діаметра, і, звичайно, є ресурси вологи, достатні для формування спадного потоку вологи, тому що частки можуть мігрувати в ґрунті лише в складі вологи. Там же, де переважають звивисті пори невеликого розміру, формуються умови для гальмування (механічного або в результаті хімічної взаємодії із твердою частиною ґрунту) спадного потоку вологи.

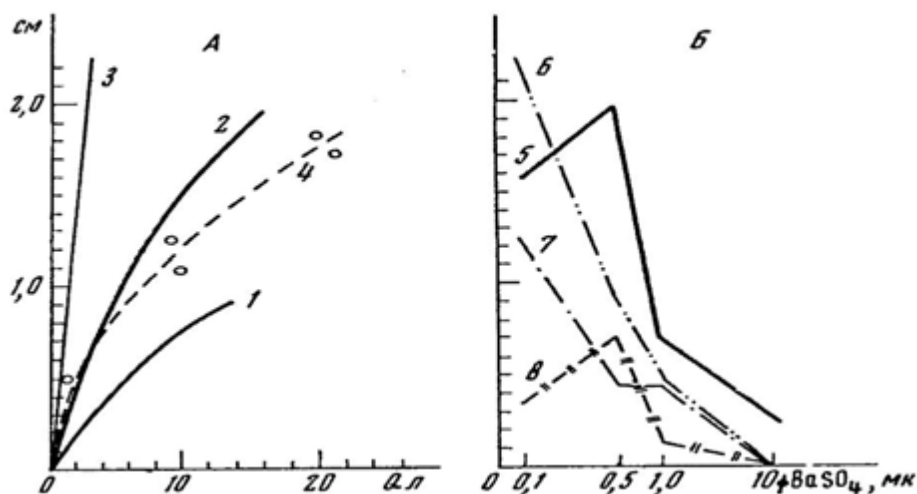
У роботі С. В. Ковеня описане дослідження ролі механічних сил і геометричних умов, необхідних для створення максимальної можливості лесиважу тонкодисперсних часток у ґрунті. Тонкодисперсні частки розміром від 0,1 до 10 мкм (у досліді використовували спеціально підготовлені частки  $\text{BaSO}_4$ ) промивали через стовпчики, сформовані з основних генетичних горизонтів дерново-підзолистого легкосуглинкового ґрунту. Зразки ґрунтів у колонках розрізнялися за параметрами пористості, структурного складу, щільності будови, фільтраційній здатності і ємності поглинання. Вологу подавали в різних обсягах. Установили, що частки всіх розмірів, навіть у колонках з мінімальними параметрами пористості і фільтрації, були здатні мігрувати. Як тільки обсяг подаваної води збільшували, пересування часток негайно зростало. Швидкість переміщення часток перебувала в прямої залежності від швидкості водного потоку. Найбільш тонкі частки переміщалися повільніше через активну взаємодію із твердою частиною ґрунту. Інтерес представляє той факт, що навіть за відсутності потоку гравітаційної води, було виявлено пересування часток. Зроблений висновок про можливість їхнього переміщення з током плівкової вологи. На підставі проведених досліджень можна констатувати, що лесиваж може мати дуже широке поширення.

Міграцію тонкодисперсних часток у ґрунті виявилось можливим прогнозувати, використовуючи наступну модель:

$$L = 0,103Q - 0,0783S + 0,144,$$

де  $L$  – довжина шляху міграції часток, см;  $Q$  – обсяг води, поданої в стовпчик,  $\text{см}^3$ ;  $S$  – розмір часток, мкм.

Залежність  $L$  від  $Q$  демонструється на рис. 6.2.7, А, від розміру часток – рис. 6.2.7, Б.



**Рис. 6.2.7. Залежність L від Q (А) і від розміру часток  $BaSO_4$  (Б)**

1-3 - повторності, 4 - середнє значення Q;  
горизонти: 5 – А1А2, Q = 10 л; 6 – А2, Q = 5 л; 7 – А2У, Q = 2,5 л;  
8 - 3, Q = 1 л

Про можливість міграції тонкодисперсних часток свідчать спостереження орієнтованих глин у шліфах з різних ґрунтів. У найбільшій мірі вони виражені в опідзолених і солонцюватих ґрунтах. Тут зустрічаються різні форми орієнтованих глин - від плутано-волокнистих, лускатих до органо-мінеральних плівок, що заповнюють поровий простір. Такі форми глин - наслідок міграції тонкодисперсної частини ґрунтів профілем або в межах окремих генетичних горизонтів. З посиленням диференціації профілю виразність анізотропності зростає - від струйчатих до потікових форм. Як правило, в опідзолених ґрунтах орієнтація глин виражена ясніше, ніж у солонцюватих ґрунтах, за винятком солонців. В ілювійованих горизонтах темно-каштанових і каштанових ґрунтів глина зосереджена в округлих мікроагрегатах. Передбачається, що ці скупчення глини утворилися в результаті поступового перетворення потікових форм унаслідок різноманітних процесів висушування/зволоження і набрякання/стиску. В умовах слабкої водостійкості структури потікові форми глини поступово зруйнувалися і були залучені в загальну ґрунтову масу. Тому що каштанові ґрунти мають важкий грансклад і збагачені

полівалентними катіонами, процес трансформації глини в них завершується утворенням мікроагрегатів простої будови, що є, як відомо, відносно стабільними елементами будови. Присутність напливів глини в нижній частині перехідного горизонту середньосолонцюватого ґрунту дозволило припустити наявність, принаймні, двох фаз у процесі ґрунтоутворення (фаза інтенсивного ілювіювання - ілювіювання і утворення напливів і фаза трансформації глини *in situ*).

Недавні палінологічні дані (А. Т. Артюшенко) указують, що вологий клімат і мезотичні степи, що панували в Причорномор'ї, набули більш ксерофітного характеру з початку четвертичного періоду.

Таким чином, мікрморфологічні діагностичні ознаки підтверджують, що «фізична» солонцюватість темно-каштанових ґрунтів є міцно закріпленим у часі свідченням колишньої підвищеної галогідроморфності даної території (Г.С. Гринь, В.А. Ковда, О.Н. Соколовський).

Менш виражені орієнтовані форми в недиференційованих ґрунтах. Для таких ґрунтів характерна скоагульованість дисперсної мінеральної маси, ілювіюванні метаморфічні (перетворені на місці) форми глини рідкі, але вони все-таки присутні навіть у чорноземах у вигляді тонких струмків, що реагують на поляризоване світло. Такі форми глин - скоріше свідчення тільки її активізації і пересування в межах мікроділянок.

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Прогностичні моделі сорбції та десорбції у ґрунтах
2. Роль гранулометричного складу у транспорті вологи і дрібнодисперсних елементів

## РОЗДІЛ 7. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ АГРОФІЗИКИ ҐРУНТІВ У ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Сьогодні землеробство - це галузь, що динамічно розвивається, і разом з нею практика, для якої відкриваються нові можливості удосконалення. Прихильність до глибокого плужного обробітку як головної умови високої й ефективної культури землеробства стає все меншою. Класичний обробіток ґрунтів плугом не без підстав все частіше й частіше зазнає критики. Уявлення про оранку як непорушний постулат, що втримував свої позиції протягом сторіч, іде в минуле. Повсюдне погіршення структури ґрунту, зростання його рівноважної щільності будови, інші агрономічно й екологічно небажані зміни у давньоорних ґрунтах уважаються наслідком їх інтенсивного й надто частого плужного обробітку. Реальна загроза деградації ґрунтів - серйозний виклик, що змушує шукати альтернативу усталеній системі обробітку. Цьому ж сприяють різноманітні демографічні, економічні й соціальні проблеми в сільській місцевості, що загострилися останніми роками. У результаті традиційні підходи до землеробства міняються й зміни відбуваються дуже стрімко. Ламаються стереотипи, пропонуються нові способи й знаряддя обробітку. Мінімізація механічного впливу на ґрунт стає основною прикметою часу. Як альтернатива виникають різні безплужні, консервативні й інші способи обробітку. Мінімальний й нульовий обробіток, їхні варіанти міні-тил, стрип-тил, роу-тил, точний обробіток витісняють плуг.

Головна перевага нових технологій обробітку - їх виражений ґрунтозахисний характер. 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, ґрунтозберігальні технології, мінімізація

механічного й хімічного впливу на ґрунт у більшій мері 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 в землеробстві 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 приорювання гною з таким же результатом замінюється рослинними залишками, мінеральні добрива й засоби захисту вносяться в ґрунт одночасно із сівбою, є можливість повністю відмовитися від міжрядних розпушувань, і навіть бур'яни можна ефективно видалити з поля без обробітку, якщо підтримувати постійний рослинний покрив на поверхні ґрунту, як це передбачено нульовою технологією.

Охорона ґрунтів поступово стає пріоритетною справою не тільки в розвинених західно-європейських країнах, але й у багатьох інших країнах. Ґрунтоохоронна спрямованість у землеробстві одержує все більше визнання і поширення.

В Європі про негативний вплив традиційних систем землеробства, заснованих на оранці і внесенні значних кількостей мінеральних добрив, було відомо порівняно давно. Так, зокрема, після застосування тривалого глибокого обробітку і інтенсивної хімізації констатували зменшення біорізноманіття і погіршення агрономічно важливих властивостей ґрунтів. Чисельність і видовий склад фауни і флори зменшувалися як тільки зростала монокультурність у спеціалізації виробництва .

Приблизно з кінця 70-х до початку 90-х років минулого сторіччя відзначався значний приріст площ із консервативною і нульовою технологіями, але потім фермери масово поверталися до плужної системи. Причина - бур'яни, хвороби, підвищення витрат, знижений урожай, що не виправдував вкладення. Майже схожою була ситуація як у північних, так і в південних країнах континенту. З кінця 90-х років прихильність фермерів знову змінилася на користь консервативної і нульової систем. Причина - загострення проблем з деградацією ґрунтів - втратою гумусу, структури, розвитком ерозії. Це ж стало причиною повсюдного зменшення механічного і хімічного навантаження на навколишнє середовище.

Стали дещо обмежувати внесення пестицидів, добрива вносити переважно на малородючих ґрунтах, а їхню кількість розраховувати тільки на компенсацію виносу поживних речовин із урожаєм, значно розширилися площі, на яких застосовували консервативну систему і органічне землеробство. Одночасно відзначається активізація досліджень із пестицидами, методів відновлення природної рівноваги, використання вторинних природних продуктів замість мінеральних добрив.

Таким чином, у другій половині минулого сторіччя в більшості європейських країн поступово були сформульовані принципові основи нової аграрної політики. Це - охорона навколишнього середовища і активна підтримка ґрунтозахисних технологій.

За таких новітніх тенденцій у землеробстві відповідних змін повинні набути і дії в Україні, зокрема у підтримці ґрунтоохоронної інформації, поглибленні змісту роботи мас-медіа, активізації ґрунтоохоронної діяльності у роботі суспільних рухів, покращенні освіти, особливо підготовці керівників нового типу, здатних сприймати і впроваджувати ґрунтоохоронну інформацію.

Інформаційне забезпечення конструювання і експлуатації машинно-тракторних агрегатів. Фізичні і фізико-механічні властивості ґрунтів давно і міцно ввійшли в землеробську механіку як наукова основа

конструювання і експлуатації машинно-тракторних агрегатів. Майже столітня історія вивчення цих властивостей ґрунтів довела їхню важливість для конструювання і використання сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів. Описано чинники, які формують основні параметри міцності ґрунтів, їхню динаміку в генетично різних ґрунтах і залежно від вологості. Найбільш фундаментальним досягненням варто визнати гідрологічне (за енергетичним діапазоном вологості), механічне (за межами пластичності) і фізичне (за параметрами сил опору) обґрунтування особливого стану ґрунту - фізично спілого стану, за якого ґрунт обробляється з найменшими витратами енергії і це супроводжується найбільш якісним кришенням. Фізико-механічні параметри питомого опору, опору зрушенню, твердості, зв'язності і зчеплення, тертя ґрунту об сталь і інші сприяли значному вдосконаленню робочих органів для кришення ґрунту в процесі обробітку. Разом з тим необхідно відзначити наявність проблем, пов'язаних з недостатнім вивченням фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунтів, що гальмує розробку більш досконалих робочих органів і технологій обробітку ґрунтів:

- незважаючи на те, що сьогодні вже не потрібно доводити необхідність параметризації міцностних властивостей орних ґрунтів для вибору раціональних конструкцій робочих органів і регіональних технологій обробітку, ці властивості ґрунтів сьогодні не вивчаються, а чинні раніше відповідні лабораторії або групи фахівців у НДІ і вузах не функціонують;

- недооцінка значення цих властивостей ґрунтів обертається невиправданою уніфікацією технічних засобів і технологій, додатковими впливами на ґрунт машинно-тракторних агрегатів, повсюдним проявом фізичної деградації в оброблюваних ґрунтах;

- відсутність даних фізико-механічних і технологічних властивостей послужило причиною непомірного прагнення конструкторів до енергонасиченої важкої сільськогосподарської техніки, а агротехнологів -

до надмірно інтенсивної технології обробітку. Останнє з'явилося безпосередньою причиною широко розповсюдженого знеструктурування і переущільнення ґрунтів;

- явна нестача регіональних стандартів і регламентів, які б обмежували масу, питомий тиск машинно-тракторних агрегатів і їхній вплив на ґрунт;

- особливо гостро відчувається майже повна відсутність даних про різні види опору, тертя і зчеплення орних ґрунтів України, відсутність відповідних приладів і навіть відсутність прийнятних моделей для їхнього визначення за непрямими доступними показниками. Це змушує конструкторів створювати робочі органи, опираючись лише на колишні зразки, а не на реальні параметри міцностних властивостей ґрунтів;

- недостатність досліджень, пов'язаних з вивченням закономірностей формування фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунтів залежно від гранулометричного складу, вмісту органічної речовини і тонкодисперсної частини, агротехнічних і організаційних чинників. Майже повна відсутність географічного і картографічного узагальнення цих властивостей, що виглядає, щонайменше, дивно на тлі достатку різного роду карт (ґрунтових, агрохімічних, екологічних і інших), а також різного роду районувань орних земель;

- відсутність спільних наукових програм із землеробської механіки, ґрунтознавства і землеробства, відсутність спільних випробувань нових технічних засобів, спільних полігонів - єдино вірного шляху для усунення багатьох з відзначених недоліків.

### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Нові підходи до агротехнологій та їх переваги
2. Проблеми, пов'язані з недостатнім вивченням фізико-механічних і технологічних властивостей ґрунтів

## РОДІЛ 8. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИВЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І РЕЖИМІВ ҐРУНТІВ

### 8.1. Експериментальний полігон

У цьому розділі ми хочемо звернути увагу на надзвичайно високу інформативність досліджень екологічних функцій на полігоні – спеціально відведених ділянці достатньо великого розміру, де підтримується звичайний рівень господарювання, де можна моделювати майбутні його варіанти, і, головне, де можна проводити найрізноманітніші спостереження в режимах *in situ* і *on-line*. Як прототип такого полігону придатний досвід університету м. Трієр (Німеччина) і університету м. Уппсала (Швеція). Перший з них призначений для вивчення головним чином ерозійних цілей, а саме міграцій твердої і рідкої фаз, а також їхнього хімічного складу. Полігон закладений на схилі під багаторічним виноградником, на полігоні вивчаються різні варіанти протиерозійних облаштувань. Площа полігону близько 50 га, на ньому встановлені різноманітні вимірювальні прилади, що діють в автоматичному режимі і передають інформацію в лабораторію, що розташована тут же. Вона предсталає собою частину будинку, у якому живе відомий професор Г. Ріхтер. Він же був багаторічним керівником проекту.

Другий полігон призначений для вивчення гідрологічної і геохімічної функцій ґрунтів.

Саме під впливом цих досліджень був створений подібний полігон в експериментальній базі ННЦ «Інститут ґрунтознавства й агрохімії ім. О.Н. Соколовського», у Харківській області, що функціонував з 1995 р. по 2005 рр.

Основні завдання, які можна вирішити в межах ґрунтово-екологічного полігону, зводяться до наступних:

- вивчення просторового розподілу хімічних елементів, показників властивостей ґрунтів і процесів залежно від ландшафтного положення і антропогенних чинників (завдання «геостатистика»);

- спостереження за змінами основних характеристик ґрунтів під дією природних і антропогенних чинників (завдання «динаміка»);

- вивчення кількісних і якісних параметрів перерозподілу хімічних елементів, поверхневого і внутрішньогрунтового стоку (завдання «міграція»);

- проведення спеціальних дослідів зі штучно заданими параметрами антропогенного навантаження (завдання «моделювання і прогноз»).

Мережа опорних спостережень формується виходячи головним чином зі структури ґрунтового покриву. Ними охоплюються основні типи і підтипи ґрунтів. Мікромережі (у зоні дії опорного розрізу) створюють для охоплення всіх інших ґрунтових таксономічних одиниць (роду, виду, різновиду). Контрольні пункти спостережень вибирають з урахуванням рельєфу (крутості, експозиції і інших елементів), типу землекористування (рілля, косовиця, пасовище, лісосмуга) і, якщо є необхідність, типу і стану рослинності.

Площа полігону 100 га охопила основні типи землекористування (рілля, луки, цілина, лісосмуга), ландшафтів (автоморфний, транзитний, акумулятивний), ґрунтів (чорноземи типові і опідзолені змиті і незмиті, лучно-чорноземні, лучно-болотні, болотні), рослинності (природні і агроценози), різноманітні ґрунтоутворні породи, форми рельєфу, ґрунтові води, річку.

На полігоні була створена розгорнута мережа спостережень: опорні ґрунтові розрізи (18), контрольні пункти (116), стокові площадки (21), лізіметри (21), опадовимірні пристрої (2), гідропости (6). Спочатку були проведені геоморфологічне, гідрологічне, геологічне, ґрунтово-агрохімічне і інші обстеження, відібрані зразки ґрунтів, порід, атмосферних і ґрунтових вод, рослин, проведені аналітичні роботи. У результаті були отримані вихідні матеріали для відповідних баз даних і різноманітні картографічні матеріали. Найбільшу важливість для наступних досліджень і висновків мають ґрунтова карта, топографічні і

гідрологічні спостереження.

Для того, щоб кінцеве завдання (сучасна динаміка ґрунтів і її прогноз) було вирішено можливо більш обґрунтовано, формують кілька баз даних параметрів (ґрунт, флора, вода, порода, фауна, клімат, рельєф і інші), виконують відповідну програму спостережень, де кожна з баз складається з показників, які пропонується контролювати, і супроводжується методичними вказівками про періодичність, строки виміру, методи і іншу інформацію.

Дослідження на полігоні вели відповідно до позначених завдань («геостатистика», «міграція», «динаміка» і ін.) на прикладі головним чином геохімічної і гідрологічної функцій ґрунтового покриву, які визначають суть системи контролю просторового розподілу, утримання і міграції хімічних елементів і вологи.

Геохімічна функція ґрунтового покриву. Під геохімічною функцією ми розуміємо здатність ґрунтів утримувати, трансформувати і перерозподіляти в просторі хімічні елементи.

Це стосується хімічних елементів, які належать ґрунту, а також тих, які надходять ззовні. Іншими словами, геохімічна функція - це хімічна діяльність ґрунту в просторі, всі хімічні процеси, які проходять у ґрунтах. Процеси геохімічної міграції речовин в екосистемах стосуються в тім або іншому ступені всіх їхніх компонентів, однак ґрунти грають у цих процесах особливу роль. В аспекті використання ґрунтів і з урахуванням антропогенного впливу і сучасних процесів деградації земель представляються найбільш важливі такі складові геохімічної функції ґрунтового покриву:

- забезпечення умов росту і розвитку рослин шляхом формування відповідного хімічного складу ґрунтового розчину, забезпечення певного рівня вмісту рухомих форм поживних елементів, а також підтримка деяких властивостей ґрунтів, які безпосередньо впливають на родючість і залежать від хімічного складу ґрунту;

- детоксикація забрудників шляхом їхнього зв'язування, трансформації або вимивання за межі ґрунтового профілю. Оскільки останній шлях детоксикації є небажаним, тому що сприяє забрудненню інших компонентів ландшафту, то він має більше значення для виконання ґрунтами наступної, гідрологічної функції;

- створення певного агрохімічного фону ландшафтів, у тому числі складу ґрунтових і річкових вод;

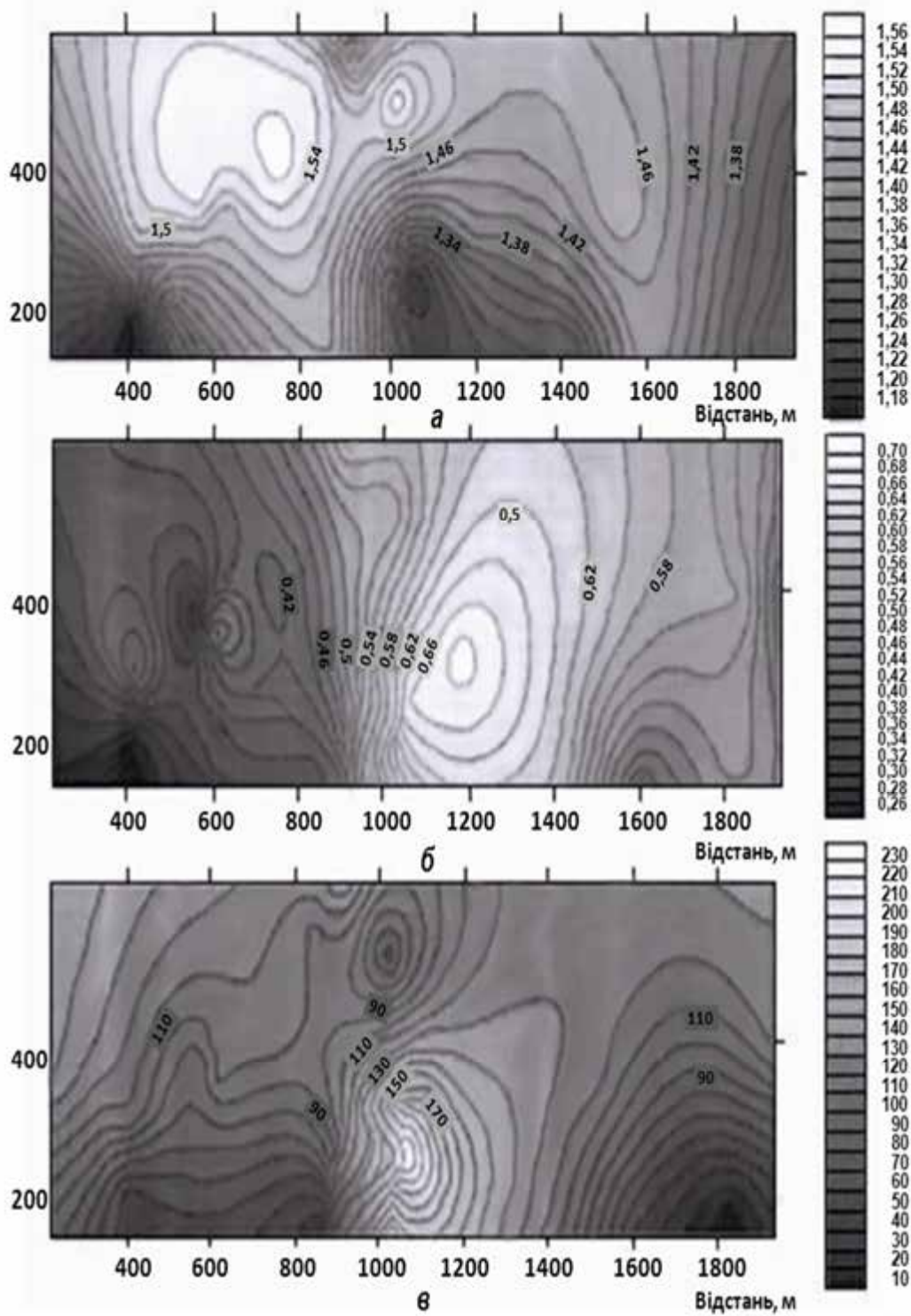
- фоновий вміст хімічних елементів в основних ґрунтах компонентів ландшафту, назване нами умовним через невизначеність і суперечливість методологічних підходів, використовуваних для його визначення. У якості такого прийнятий вміст елементів у ґрунотворній породі, що була найменш змінена сучасними процесами ґрунтоутворення;

- просторовий розподіл властивостей і хімічних елементів в основних ґрунтах і ландшафтах, відбите у вигляді загальних карт детального масштабу (рис. 8.1.1);

- кількість і склад хімічних елементів у ґрунтах і водах, що надходять із опадами або у вигляді добрив;

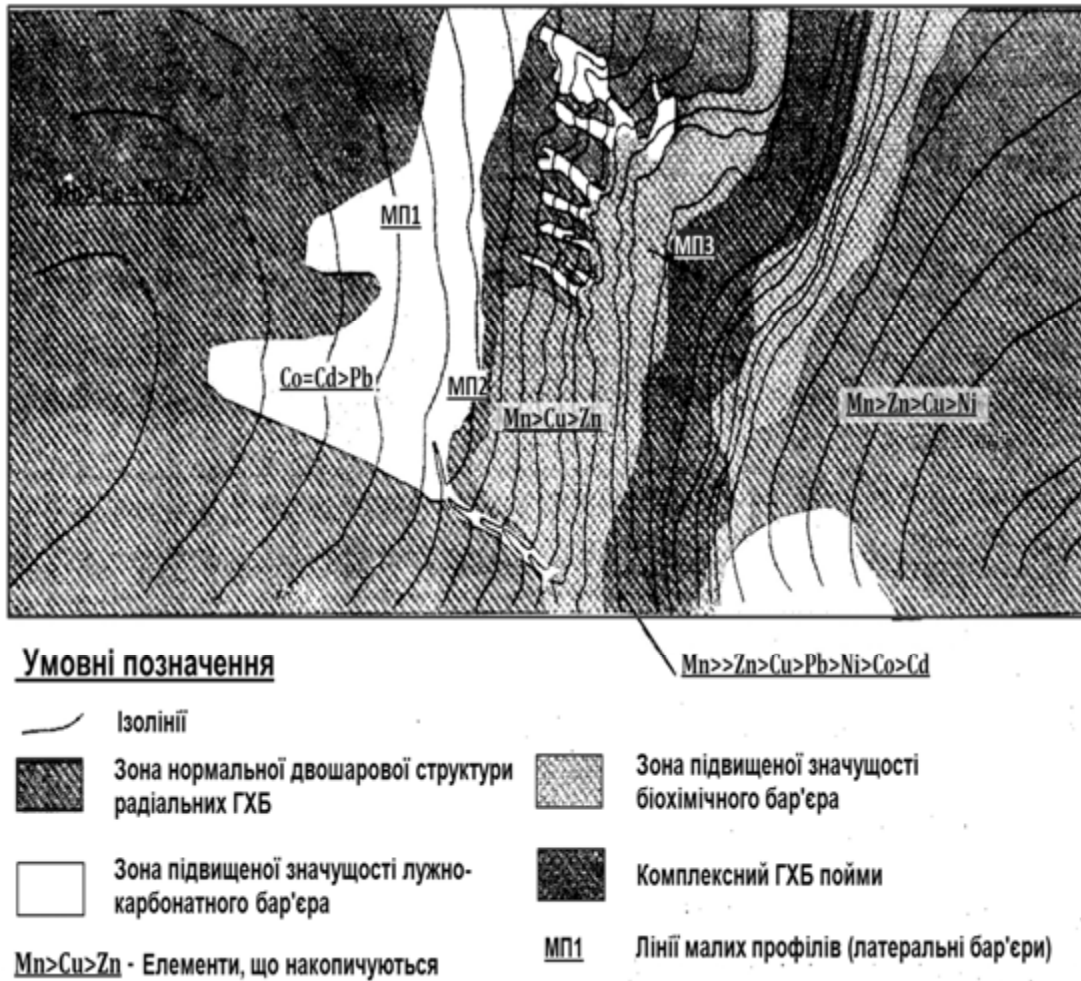
- основні міграційні потоки речовин в ландшафті і геохімічні бар'єри як основні перешкоди на шляху латеральних або вертикальних міграцій (рис. 8.1.2). Ці дослідження супроводжувалися модельними дослідженнями з метою встановлення сорбційної здатності ґрунтів і порід стосовно окремих елементів - потенційних забрудників.

Гідрологічна функція ґрунтового покриву. Ця функція означає діяльність ґрунту, спрямовану на формування певного режиму вологозабезпечення рослин і організмів у ландшафті, а також транспорту речовин. Водна міграція є однією з основних форм міграції хімічних елементів в екосистемі і у ландшафті, тому геохімічна і гідрологічна функції в цьому плані вивчаються узгоджено і у тісному зв'язку.



**Рис. 8.1.1. Мінливість властивостей ґрунтів полігону:**

а - щільність будови (г/см<sup>3</sup>), б - коефіцієнт водостійкості), в - водопроникність (мм/год.) у верхньому ( 0-20 см) шарі (за даними Л. Г. Почепцової)



**Рис. 8.1.2. Геохімічні бар'єри на ґрунтово-екологічному полігоні (дані А.О. Ачасової)**

Рідка фаза ґрунту має властивість виняткової варіабельності в часі і у просторі, що багато в чому є визначальним для формування ґрунтів і ґрунтових процесів. У той же час саме ця її властивість визначає значні методичні труднощі для організації вивчення. Волога, що випадає з атмосферними опадами, попадає на поверхню ґрунту. Тому рельєф останньої (тобто, крутість, довжина, кривизна, експозиція схилів, лінії потоків вологи) у край важливі. Далі, стан поверхні, тип агрофону і, нарешті, безліч внутріґрунтових факторів (грансклад, макро- і мікроструктура, здатність до усмоктування і фільтрації і інші). Особливо варто підкреслити анізотропність як розходження у властивостях за

вертикалі і горизонталі, що визначає домінування вертикальних або горизонтальних потоків вологи. Проте, незважаючи на велику кількість чинників, будь-яка частина ландшафту має певний тип зволоження, що складається із вступних і спадних потоків. Звичайно, їхній зміст міняється у часі (багаторічні, річні, сезонні, добові цикли), однак прагне до деякого рівноважного стану, кількісно оцінюваного балансом вологи. Саме тому ця величина і її складові на основних елементах ландшафту становить найбільший інтерес для вивчення. Крім того, важливо також установити, яка частина з вологи, що надійшла, використовується на створення рослинницької продукції, а також бере участь у процесах переносу твердих речовин.

Деякі з отриманих даних про характеристику гідрологічної функції на ґрунтово-екологічному полігоні були продемонстровані в книзі В.В. Медведєва (2012).

Згодом значення такого полігону зросте, тому що підвищується вірогідність оцінок еволюції речовинного складу і ґрунтових процесів у природних і антропогенних ландшафтах у цей час і в перспективі. Більше того, тільки за умови постійного одержання подібної інформації стане реальним вирішення завдання раціонального управління агроландшафтами, тобто, їхнього використання в ощадливому режимі, обмеження різноманітних навантажень, збереження компонентів, усунення несприятливих процесів. Інакше кажучи, стане можливою трансформація характеру розвитку ландшафтів від сучасного деградаційного шляху розвитку до якісно нового етапу - стійкого заощадження і підсилення їхніх позитивних властивостей.

Реалізація завдань наукового полігону дозволить використовувати переваги педотрансферного моделювання з метою прогнозування ґрунтових процесів. Контроль елементарних ґрунтотворних процесів, продуктивних і екологічних функцій, що попереджає інформацію про стан ґрунтів, міграцію речовин і забрудників у суміжні середовища повинні

стати важливими завданнями наукового полігону і одночасно інструментом для становлення експериментального ґрунтознавства підвищеного інформаційного змісту.

## **8.2. Стаціонарний польовий дослід**

Ідеальним представляється варіант, коли описаний вище ґрунтово-екологічний полігон доповнюється серією тривалих (стаціонарних) польових експериментів з вивчення різних рівнів і типів антропогенного навантаження (з обробітком, добривами, меліораціями і іншими заходами). Звичайно такого роду досліді ведуть із метою опрацювання оптимальної технології одержання продукції рослинництва, а спостереження за змінами ґрунтових параметрів у них виглядають як не завжди обов'язковий додаток до даних урожайності культур або еколого-екологічним інтерпретаціям. Разом з тим такі спостереження можуть і повинні стати самостійною й винятково важливою оцінкою в самих різних напрямках:

- визначення характерних показників властивостей і процесів за різних рівнів антропогенного навантаження (від мінімальних, на контролі, до максимальних, що не має місця сьогодні, а очікуване у перспективі);

- визначення швидкості зміни властивостей і процесів за таких же навантажень;

- установлення загальної спрямованості зміни показників і процесів (кількісний опис антропогенної еволюції ґрунту).

Як приклади можна привести чимало фундаментальних положень, установлених у стаціонарних дослідях як такі, що мають найважливіше значення для оцінки суті сучасного ґрунтоутворного процесу.

Так, у результаті застосування інтенсивних методів механічного обробітку ґрунтів фактично сформувався інший ґрунт, що істотно відрізняється від природного аналога. Справді, на ріллі в порівнянні із цілиною інше співвідношення процесів мінералізації й гуміфікації рослинних залишків, відзначається різко мінливий в часі фізичний стан

(більше грубих структур, вище рівноважна щільність, глибше промочування). Систематичний плужний обробіток прискорює негативну трансформацію ґрунтів, мінімалізація - здатна сповільнити хід цих процесів.

Звичайний інтенсивний обробіток супроводжується необоротним переущільненням кореневмісного шару і цілою низкою пов'язаних із цим процесів: погіршенням надходження до ґрунту атмосферної вологи, розвитком водної ерозії і навіть анаеробізацією.

Систематичне внесення мінеральних добрив, крім збагачення ґрунту елементами живлення, здатне змінити реакцію ґрунтового розчину, стан колоїдного комплексу, вплинути на фізичні і біологічні властивості ґрунтів.

У результаті тривалого зрошення піднімаються ґрунтові води, відзначаються явища вторинного засолення і осолонцювання, гідрофілізація тонкодисперсних мінеральних компонентів.

Великомасштабне осушення приводить до виникнення вітрової ерозії і розвитку цілого ряду процесів, пов'язаних зі зміною окисно-відновного режиму.

Відомі випадки, що навіть угноєння ґрунту великими дозами, крім збагачення ґрунту гумусом, мало своїм наслідком істотне зниження здатності ґрунтів до навантаження і розвитку руйнівних деформацій навіть під дією звичайних (не енергонасичених) ходових систем мобільних сільськогосподарських агрегатів.

Розвиток різноманітних негативних процесів у результаті господарської діяльності стало можливим через зневагу попередніми дослідженнями. Залучення цілинних земель в обробіток, інтенсивний розвиток гідротехнічних меліорацій, хімізація землеробства - всі ці впливи були здійснені майже одразу на великих територіях, що було характерно для радянського минулого нашої країни, коли партійні рішення заміняли собою необхідні вишукування. Сьогодні, коли ясні причини великого

розвитку деградацій (це, насамперед, ослаблення стійкості території, перевищення межі припустимих навантажень, часом просто некваліфіковані технічні рішення, як це трапилося з масштабним осушенням Полісся або ухилом на розвиток важкої сільськогосподарської техніки), неможливо допустити подібне в майбутньому.

Для цього вже зараз необхідно зробити інвентаризацію наявних у країні стаціонарних дослідів, виділити з них ті, що відповідають необхідному завданню - дати інформацію, що попереджає про негативні зміни властивостей ґрунтів під дією систематичного антропогенного навантаження, і якщо потрібно, закласти нові досліді.

Насамперед, варто звернути увагу на те, що таких дослідів порівняно небагато, навіть за умови, що до списку агрохімічних додати тривалі досліді з вивчення різних технологій обробітку. Їхнє зведення здійснене В.П. Гордієнко і ін. (1998). У Поліссі - 8, у Лісостепу - 21, у Степу - 10 дослідів, що, з огляду на строкатість природних і господарських умов, недостатньо. Не охоплено експериментами навіть ґрунти, що домінують у ґрунтовому покриві (наприклад, каштанові солонцюваті в Степу, заплавні, схиліві, торф'яні і інші). Відсутні досліді на неорних угіддях. Досліді за своїми завданнями погано сумісні між собою, різні їхні схеми, у них дуже важко відібрати варіанти, що імітують різні (особливо перспективні) навантаження. Мало комплексних дослідів, у яких одночасно випробовувалися різні технології - знаряддя обробітку, добрива, засоби захисту, меліоративні прийоми, тобто, імітувалися інтенсивні технології з максимальним антропогенним впливом.

Потрібно думати, що коли досліді державного рівня будуть розміщені з урахуванням агроґрунтового районування, видів і рівнів антропогенних навантажень і, крім того, їхні схеми будуть відповідати сучасним методам планування експерименту і буде можливість їх піддавати універсальним способам математичної обробки, з'явиться реальна можливість використовувати всі переваги, які має стаціонарний

польовий експеримент для вирішення наукових і прикладних задач.

Серед польових експериментів важливе місце займають довготривалі дослідження, які характеризуються найбільшою інформативністю. В Україні є чимало багатofакторних польових дослідів, закладених у різних ґрунтово-кліматичних зонах країни. В цих дослідях проводяться як фундаментальні (динаміка зміни родючості ґрунту), так і прикладні дослідження (розробка системи обробітку ґрунту, добрив в сівозміні).

Згідно з міжнародною класифікацією, довгостроковими вважаються дослідження, тривалістю не менше 20 років, стаціонари, тривалістю більше 50 років, називають класичними. Серед класичних дослідів найбільш відомими є дослідження Ротемстеда (Англія, 1843 р.), 160 річний Бродвольський дослід «Беззмінна пшениця», 127 річний дослід «вічна культура жита» (Галла, Німеччина). Зверхтривалі (тривалістю понад 100 років) дослідження є в Франції (1875 р.), США (1876 р.), Данії (1894 р.). В Росії проводиться зверхтривалий польовий дослід ТСХА, який закладено А.Г. Дояренко (1912 р.).

### **8.3. Вегетаційний дослід**

Польовий метод, який застосовують у польових дослідженнях, поєднується з іншими, що дає змогу краще дослідити взаємозв'язок різних факторів впливу на рослину. Найчастіше польовий і лабораторно-польовий дослідження поєднують з вегетаційним. Останній проводять у спеціальних приміщеннях — вегетаційних будиночках, на невеликих площах, нерідко з насипного ґрунту, у вегетаційних посудинах, наповнених ґрунтом, піском або розчином солей (водні культури). Цей метод дає поглиблені дані стосовно реакції рослин на різні фактори вегетації, а також при їх взаємодії. Разом з тим, як зазначав Д. М. Прянишников, вегетаційний дослід більш точний, але менш вірогідний, а польовий — менш точний, проте більш вірогідний.

Для поглибленого вивчення дії біотичних і абіотичних факторів — світла, тепла вологи живлення, біохімічних та фізіологічних процесів у

селекції, а останнім часом і для біотехнологічних досліджень використовують камери штучного клімату, а також спеціальні споруди — фітотрони. В них можна моделювати різні режими вегетації (світловий, тепловий, водний, поживний), отримувати кілька врожаїв за рік, що важливо для прискорення селекційного процесу. Все це доповнюється різними методами лабораторних досліджень, під час яких визначають у разі потреби вміст у рослинах азоту, фосфору, калію, кальцію та інших макро- і мікроелементів, білка, клітковини, жиру, безазотистих екстрактивних речовин. При вирощуванні рослин за екологічно чистими технологіями важливо контролювати також вміст у них радіонуклідів, важких металів, дігосину і фурану та інших шкідливих речовин.

Великого значення у вивченні живлення рослин набувають дослідження із міченими атомами. Цей метод дає змогу вивчати переміщення елементів живлення та інших речовин у рослині.

Дедалі ширше в дослідженнях застосовують електронно-обчислювальну техніку, яка різко скорочує процес узагальнення експериментального матеріалу, дає змогу створювати моделі продукційного процесу, оперативно обробляти інформацію.

Завершальним етапом у процесі досліджень є виробничий дослід, під час якого апробують в умовах виробництва одержані результати, дають їм всебічну практичну оцінку.

#### **8.4. Лізиметричний метод**

У лізиметричних установках проводиться моделювання водного та поживного режимів для формування найвищої продуктивності сільськогосподарських культур, здійснюється науковий прогноз меліоративного стану осушуваних земель за інтенсивних технологій та органічного землеробства з вивченням інтенсивності проходження процесів у ланці: «ґрунт - рослина – дренажні води -- довкілля».

За лізиметричного методу досліджень вивчаються особливості процесу вимивання кальцію, магнію, калію, азоту та вертикальної міграції

радіонуклідів у мінеральних ґрунтах, що є основою для об'єктивної оцінки кругообігу та розрахунку балансу поживних речовин для покриття їх дефіциту в системі сівозмін як основи регулювання родючості ґрунту (А.О. Мельничук, інститут сільського господарства Полісся НААН України).

Сучасні лізіметричні об'єкти у зв'язку з метеорологічними станціями дозволяють здійснювати контроль та оцінку екосистемно пов'язаних основних компонентів довкілля, таких як вода, повітря, ґрунт і рослинність. Вода є найбільш важливим компонентом екосистеми та елементом, який поєднує всі інші компоненти. Тому необхідне знання щодо основного розподілу і водного балансу у різних компонентах довкілля, щоб інтерпретувати процеси в природі. Кількість опадів, що є основним джерелом життєво важливих процесів у ґрунті, формується в повітрі. Кількість опадів, що потрапляє в ґрунт і ґрунтові води, залежить від погодних умов. Первинний розподіл дощової води ділиться між інфільтрацією, поверхневим стоком, транспірацією та евапотранспірацією. Кількість води, що проникає в ґрунт, а потім випаровується за рахунок сонячної активності або діяльності рослин, можна визначити, у першу чергу, шляхом моніторингу змін у вазі. Для цього моніторингу використовується вагомий лізіметр. Це обладнання розміром з моноліт, площа поверхні якого 1 м<sup>2</sup> і глибина 1,5 м, здатне стежити в он-лайн режимі за оновленням ваги маси в 2 тони з точністю до 100 г. Коли до кількісної оцінки додається фільтрат нижнього шару, отримуємо повноцінний облік опадів в довкіллі щодо окремих компонентів. Отримані дані можна інтерпретувати з точки зору потреб гідрології, сільського господарства, довкілля та відповідно до цілей і завдань, для яких ми хочемо їх використовувати.

### **8.5. Аналітичні камеральні і польові дослідження**

Для успішного ведення вимірів ґрунтів у польових умовах потрібно мати встаткування для вивчення надходження і спадного пересування

речовин, вологи й тепла, емісії різноманітних газів, мати можливість вести спостереження за поверхневим і внутрішньогрунтовим стоком (тобто, мати лізіметричні станції й стокові площадки, хоча б в обмежених кількостях, в природних зонах і основних ґрунтових провінціях).

Опис ґрунтових розрізів і встановлення класифікаційної приналежності ґрунтів потрібно вести з використанням вітчизняних і міжнародних підходів.

Вологість ґрунтів бажано спостерігати в режимі on-line, наприклад, за допомогою приладу TDR, а також обов'язково мати автоматичну кліматичну станцію. Крім того важливо забезпечити відбирання проб з непорушеною будовою для наступного виміру вологопровідності, а також набір кілець із направником для виміру щільності будови ґрунтів. Потрібно також урахувати, що сьогодні випускаються портативні переносні і недорогі прилади для реєстрації безпосередньо в польових умовах емісії парникових газів і різноманітні газоаналізатори для вивчення складу ґрунтового повітря. Радіологічні виміри забезпечені різноманітними спектрометрами і дозиметрами, обладнаними сучасною автоматичною реєстрацією й засобами графічної і статистичної обробки параметрів.

Сьогодні знаходять широке застосування різноманітні портативні лабораторії для експрес-діагностики живлення рослин із широким спектром макро- і мікроелементів, портативні прилади для рослинної діагностики вмісту азоту, виміру кислотності, дослідження безпосередньо в польових умовах ОВП, температури, електропровідності і інших параметрів.

Для оперативного проведення польових робіт на різних площадках, розташованих іноді в 50-70 км одна від іншої, негайної доставки зразків ґрунтів, вод і рослин для наступного аналізу незамінними будуть пересувні спеціально обладнані автомобілі-лабораторії, що випускаються деякими західними фірмами за досить доступними цінами.

Ще більш широкі можливості існують сьогодні для організації на найвищому рівні лабораторних вимірів складу ґрунтів, рослин і вод. Це різноманітне іонометричне, спектрофотометричне, мас-спектрометричне (рідинне і газове), атомно-адсорбційне, рентген-флуоресцентне, колориметричне і інше встаткування для вивчення складу і властивостей органічної і мінеральної частин ґрунтів, забрудників різноманітного походження і природи, а також досліджень мікробіологічних, токсикологічних і мікроскопічних характеристик ґрунтів.

Важливо відзначити, що сьогодні є значні можливості оснастити лабораторії найсучаснішим устаткуванням для підготовки зразків, їхнього здрібнювання, організації високопродуктивних потокових ліній, зберігання і утилізації зразків, спеціалізованими зручними меблями, клімат-контролем, комфортними приміщеннями для виконання аналізів і відпочинку.

#### **8.6. Математичне педотрансферне моделювання**

Історія становлення педотрансферних моделей і їхніх прикладних аспектів широко висвітлені в літературі (Є.В. Шеїн). Педотрансферні моделі дозволяють визначити одні властивості ґрунтів, використовуючи для цього інші, які виміряються простіше і дешевше. J. Bouma – один з активних прихильників застосування моделей, писав, що це - «переклад даних, які ми маємо, у ті, які нам потрібні». У якості базових у моделях найчастіше використовуються дані гранулометричного складу, щільності будови, вмісту органічної речовини. З їхньою допомогою розраховують ґрунтово-гідрологічні константи, фізико-механічні і технологічні властивості, міграцію вологи і речовин, оцінюють можливості ґрунтів формувати мікро- і макроструктуру.

Реалізація завдань педотрансферного моделювання, розробка нових видів моделей дозволяє розвинути напрямок у ґрунтознавстві, пов'язаний із прогнозами, різного роду оцінками і, в остаточному підсумку, управлінням. На жаль, в Україні педотрансферні моделі недооцінені і

практично не знаходять застосування. Більше того, відзначається активне неприйняття моделювання взагалі й, зокрема, педотрансферного моделювання. Причому такі висловлювання можна почути від провідних учених, до думки яких прислухаються. Звичайно посилаються на відсутність масових даних і неможливість вести із цієї причини повноцінне моделювання. Час, проте, показав, наскільки важливі ці дослідження для пошуку нових закономірностей у ґрунтознавстві, посилення кількісного початку в ньому і, особливо, для цілей прогнозування.

Педотрансферні моделі можуть мати найрізноманітніше застосування. Наприклад, з метою прогнозування функціональних показників при зміні базових показників. Наприклад, відомо, що приблизно за 50 років середній вміст гумусу в орних ґрунтах країни зменшився з 3,5 до 3,1%, або на 0,008% у рік (В.А. Греков). Якщо рівень землекористування збережеться на нинішньому рівні, то через 50 років рівноважна щільність будови ґрунтів зросте на 0,1 г/см<sup>3</sup> і це буде означати падіння врожайності на 6 ц/га в рік (згідно нормативних оцінок впливу ущільнення на врожай - А.Г. Бондарев), або у валовому вимірі щорічна втрата складе близько 100 тис. тонн зерна (за площі вирощування зернових культур біля 20 млн. га).

Педотрансферні моделі придатні для оцінки фізичних властивостей ґрунтів територій, де водно-фізичні властивості раніше не вивчали. Особливо актуальне це питання для Полісся, де вимірів водно-фізичних властивостей значно менше, ніж у Лісостепу й Степу.

Особливо важливими педотрансферні моделі можуть стати в зрошуваному землеробстві при визначенні найменшої вологості - ключового параметра для розрахунку поливних норм - замість громіздкого визначення цієї характеристики методом площадок, що заливаються. Помітимо, що у виробництві цим методом не користуються, а необхідні параметри запозичають із довідників. Без особливого ризику помилитися скажемо, що це одна із причин переполиву і, як наслідок, істотного

розвитку процесів вторинного осолонцювання і засолення за зрошення.

Точно також педотрансферні моделі перспективні для визначення іншої важливої ґрунтово-гідрологічної константи - вологості стійкого в'янення рослин. Прямий метод виміру цієї характеристики за допомогою вегетаційних мініатюр використовується рідко, а розрахунок по максимальній характеристиці шляхом її множення на коефіцієнт 1,34, як показав А.Г. Дояренко, неточний, тому що залишає без уваги дуже різну здатність культур засвоювати важко доступну вологу. Із цієї причини можна стверджувати, що сьогодні фактично відсутні експериментальні дані про реальну кількість недоступної вологи в ґрунті. Є підстави думати, що педотрансферний розрахунок ВВ істотно поліпшить сформовану ситуацію.

Педотрансферні оцінки водно-фізичних властивостей ґрунтів можуть виявитися корисними при розшифровці дистанційної інформації, особливо з огляду на ту обставину, що гумус і фізична глина оцінюються при аналізі космічних знімків уже досить надійно. Це дозволить істотно уточнити наявну просторову інформацію про стан фізичних властивостей ґрунтів.

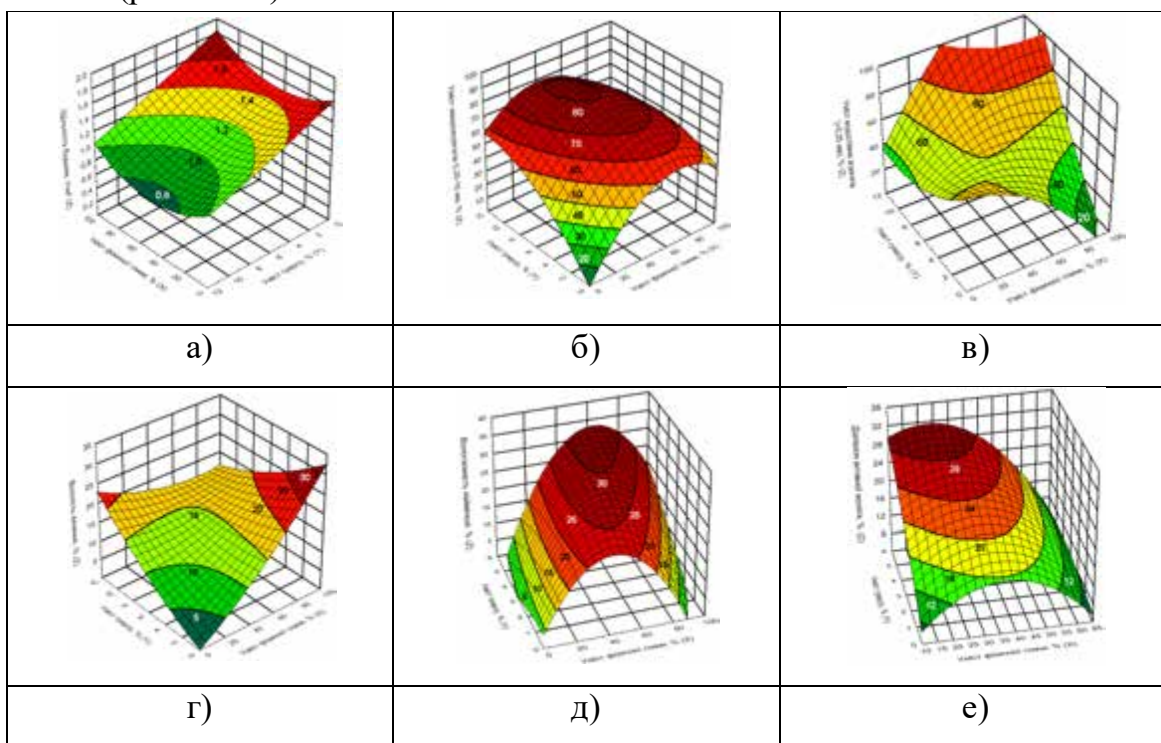
Ще приклад: для виявлення територій, де мають місце прояви фізичної деградації. Причина останньої - найчастіше у втраті гумусу й зниженні здатності ґрунтів формувати агрономічно корисну структуру. Розрахунок за допомогою моделей може бути простим способом виявлення так званих «hot spots» - «гарячих плям» - місць, де частіше проявляється переущільнення, брили, розпилення і можлива вітрова ерозія. Зовсім очевидні перспективи педотрансферних моделей у моніторингу при еталонуванні індикаторних показників стану ґрунтів залежно від місцевих значень базових показників. Виявленні тренда тих же індикаторних показників.

Педотрансферне моделювання може прискорити впровадження точного землеробства, яке через складну процедуру встановлення просторової неоднорідності поля і виявлення на ньому контурів з різним

рівнем родючості, уповільнено розвивається навіть у країнах з гарним технічним оснащенням сільськогосподарського виробництва. Потрібно закласти на полі регулярну мережу елементарних ділянок і зробити значну кількість різноманітних польових і лабораторних аналізів, чим і пояснюються численні спроби вишукати більш ефективні способи парцелізації (дроблення) поля на агротехнологічні прийнятні контури з різною родючістю.

Нарешті, за умови подальшої регіоналізації і перевірки надійності моделі можуть знайти застосування в контролі стану ґрунтів в умовах довгострокової оренди земель, уточненні вартості земельної ділянки за умови її продажу й взагалі для більш ефективного й об'єктивного ведення ринкових перетворень.

Далі продемонструємо приклади моделей для визначення водно-фізичних властивостей ґрунту за вмістом загального гумусу і фізичної глини (рис. 8.6.1).



**Рис. 8.6.1. Квадратичні педотрансферні моделі для визначення водно-фізичних властивостей ґрунтів за вмістом загального гумусу і фізичної глини**

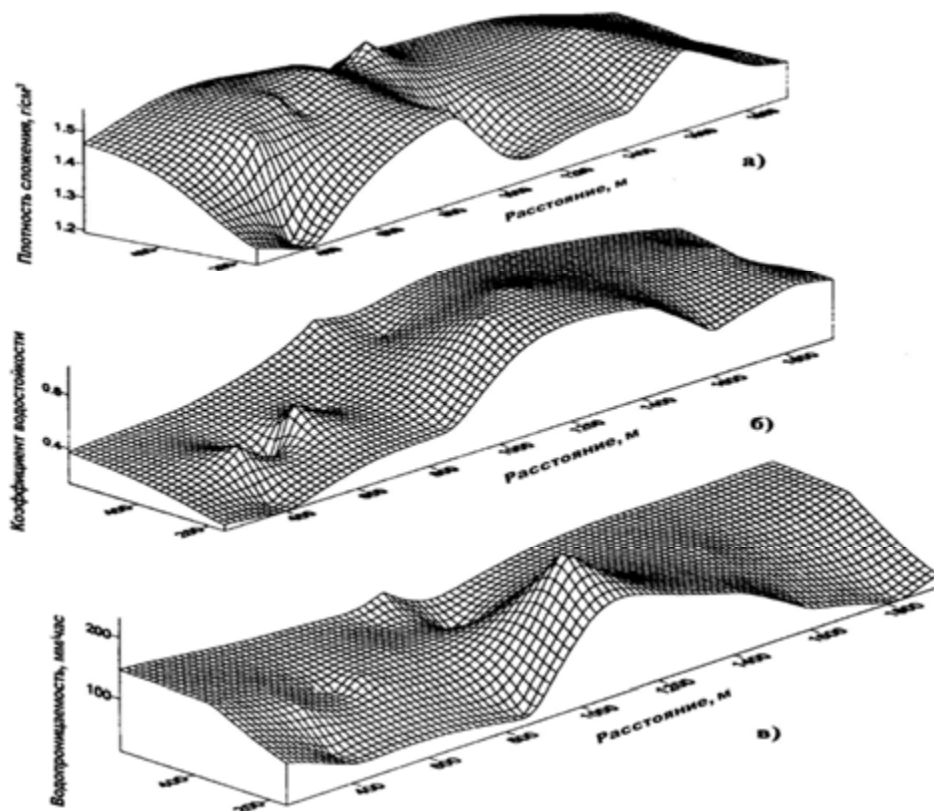
а) щільність будови; б) уміст макроагрегатів 0,25-10 мм; в) уміст водостійких агрегатів >0,25 мм; г) вологість стійкого в'янення рослин; д) найменша вологоємність; е) діапазон активної вологи

## 8.7. Геостатистичний

Геостатистика - новий етап у вивченні просторової неоднорідності ґрунтового покриву, розвинутий в основному зусиллями R. Webster а oth. (1990). В основі геостатистики лежить теорія стохастических (імовірнісних) функцій. За допомогою так званих регіоналізованих змінних вона дозволяє перейти від характеристики дискретних даних до характеристики континуума, яким, по суті, і є ґрунтовий покрив. Відповідно до цієї теорії будь-яка характеристика ґрунту має певну просторову структуру, яку можна відрізнити від випадкової. Геостатистика пропонує кілька математичних процедур (розрахунок дисперсії, побудова варіограм, кригінг і інші), які сприяють більш адекватному відбиттю просторових особливостей властивостей ґрунтів. Раніше просторова варіабельність властивостей ґрунтів не тільки недооцінювалася, але, навпроти, було запропоновано чимало способів її «усунення» (збільшення кількості відібраних зразків, їхнє усереднення, рендомізація). У той же час геостатистичне вивчення, наприклад, деяких фізичних властивостей на ґрунтово-екологічному полігоні дозволяє виявити території, через які переважно здійснюється внутрішньоґрунтове скидання поверхневих (талих або атмосферних) вод, території, які вимагають вибіркового підходів до обробітку (максимізації або мінімізації) або до меліорації (рис.8.7.1). Далі, за допомогою кригінга можна з великою часткою ймовірності виявити зони, де домінують підвищені параметри певного показника ґрунту (забруднення або засолення). Крім того, за допомогою геостатистичного методу корегіоналізації за наявності густої мережі спостережень (наприклад, гранулометричного складу, щільності або інших характеристик) можна коректно характеризувати сусідні ділянки з рідкою мережею спостережень.

Серед аспектів, де геостатистика знайде широке застосування, відзначимо детальну ґрунтову картографію і особливо точне землеробство. Надалі, здається, жодна прогностична модель будь-яких міграційних

процесів не може бути визнана коректною без просторових коригувань. Особливо перспективним може бути об'єднання геостатистичного методу з дистанційним зондуванням.



**Рис. 8.7.1. Залежність неоднорідності ґрунтів екологічного полігону від щільності будови (а), водостійкості (б) і водопроникності (в) ґрунтів(за даними Л. Г. Почепцової)**

## 8.8. ГІС – технології

Геоінформаційна система є відносно новим, сучасним технічним засобом об'єднання і аналізу різноманітної інформації, наприклад, такої інформації, що виробляється в процесі моніторингу. Це картографічна інформація (ґрунтові, топографічні, гідрометеорологічні, гідрогеологічні і інші карти, карти землекористування), а також будь-яка інша цифрова інформація про властивості ґрунтів. ГІС дозволяє зіставити, проаналізувати, графічно представити, оновити, реконструювати інформацію в зручному для користувача виді, побудувати нову карту,

таблицю, графік, тобто, одержати принципово нову інформацію. ГІС (за умови, звичайно, якщо вона постачена досить потужними програмними засобами) - це одночасно й довідкове джерело (банк інформації і експертна система, без якої вже неможливо собі уявити сучасного менеджера, якому потрібно приймати оперативні і по можливості оптимальні рішення за наявності масової і нерідко суперечливої вихідної інформації.

ГІС здатна організувати тематично різноманітну просторову інформацію, робити з нею багато дій і забезпечувати автоматизований її аналіз.

Будь-яка ГІС дозволяє виконати наступні обов'язкові процедури:

- увести в комп'ютер і відредагувати інформацію про простір, прив'язаний до точок, ліній, полігонів;

- зберегти, поповнити, оновити і якщо буде потреба знайти внесену в комп'ютер інформацію;

- зробити аналіз уведеної в комп'ютер інформації, що може полягати в картографуванні, статистичній обробці, імітаційному моделюванні, а також піддати її більш складним перетворенням (наприклад, з метою прогнозу);

- скласти звіт у вигляді таблиць, графіків, карт.

З вище викладеного зовсім ясно, що ґрунтознавець-еколог не може обійтися без ГІС. Вона, звичайно ж, є дуже діючим помічником у виконанні найрізноманітніших завдань.

З моменту створення першої ГІС ( 60-і роки минулого сторіччя) цей напрямок у науці і у практиці пройшов значний шлях концептуального, програмного, технічного і прикладного вдосконалення. У початкові роки ГІС були лише в окремих організаціях, сьогодні, коли програмно-технічні засоби стали значно дешевшими, ГІС поширюються буквально лавинно. Разом з тим ґрунтознавство, моніторинг ґрунтів поки не були активними об'єктами нової методології. Ґрунтові матеріали - карти ґрунтів, землекористування і дуже невелике число параметрів, що характеризують

властивості ґрунтів, звичайно входять складовою частиною в більш загальні ГІС - наприклад, управління земельними, водними і лісовими ресурсами. У цей час такого роду ГІС розроблені у більшості розвинених країн.

### **8.9. Вивчення ґрунтів у режимі *in situ* і *on-line***

З огляду на постійну динаміку основних властивостей і режимів ґрунтів у часі залежно від зволоження, температури, мікробіологічної активності, важко очікувати, що польові виміри будуть відповідати камеральному. Зрозуміло, розбіжності не будуть мати місця у відношенні таких відносно консервативних властивостей як морфологічна будова або грансклад, але відносно швидкозмінливих режимів вологи, повітря, різноманітних міграцій, можливі відхилення. Більше того, за однократними спостереженнями, навіть виконаними у рівноважному стані ґрунту, неможливо скласти уявлення про реальну спрямованість процесів. Наприклад, рівноважна щільність будови фактично не є такою, тому що може мінятися від року до року залежно від агрофона і погодних умов, тобто це квазірівноважна величина. Точно також інші режими ґрунту залежно від дії антропогенних і кліматичних факторів характеризуються своєрідною ритмікою, уловити особливості якої досить складно, опираючись на традиційні підходи у вивченні ґрунтів. Словом, оцінка стану ґрунтів як тіла природи за результатами їхнього вивчення на однократно відібраних зразках пов'язана з ризиком одержання неточних або навіть помилкових висновків. Зрозуміло, потрібно по можливості віддавати перевагу даним, здобутим у режимі *in situ* (безпосередньо в польових умовах) і *on-line* (у режимі безперервної реєстрації властивості ґрунтів).

На жаль, сьогодні не так багато можливостей реалізації вивчення ґрунтів з урахуванням реальної динаміки показників (добової, сезонної, річної, багаторічної). Але вони є й ці можливості стрімко розширюються. Наприклад, в останні роки значно вдосконалені методи виміру вологості

ґрунтів без традиційного відбирання і висушування зразків. Серед багатьох різних приладів добре себе зарекомендували вимірники Time Domain Reflectometer (TDR) виробництва Delta-T Devices Ltd з Великобританії. Визначення базуються на вимірі швидкості електромагнітної хвилі, що випромінюють сенсори, установлені на певних глибинах у ґрунті. Перед виміром у ґрунті стаціонарно встановлюють спеціальні тонкостінні туби, у які опускають сенсори. Останні з'єднані кабелем з вимірником. Як стверджують розробники, TDR надійно працює на мінеральних і органічних ґрунтах, не вимагає частого калібрування, здатний швидко фіксувати пересування електромагнітної хвилі, забезпечений програмними засобами для автоматичної обробки результатів. TDR може стати незамінним при вивченні режиму вологості на моніторингових площадках.

За кордоном стає популярним використання методу електромагнітної індукції для оцінки стану ґрунтової родючості ґрунтів. З використанням цього методу встановлений досить високий рівень кореляції між агрономічно важливими властивостями ґрунтів і електропровідністю. Остання зростає разом зі зростанням у ґрунті вмісту доступної води, концентрацією ґрунтового розчину, ємністю катіонного обміну, тонкодисперсними компонентами. Логічно наявність таких зв'язків здається цілком виправданою, тому що перераховані властивості дійсно пов'язані з рівнем ґрунтової родючості. Важливо помітити, що в дослідженнях Л.В. Аніскевича, виконаних у Національному університеті біоресурсів і природокористування в Києві, цей метод був успішно випробуваний при вивченні неоднорідності ґрунтів у межах земельної ділянки з метою диференціації внесення добрив у технологіях точного землеробства.

Досить широкий набір нових приладів для ґрунтово-агрохімічних досліджень в умовах *in situ* і *on-line* пропонує голландська фірма Eijkelkamp ([www.eijkelkamp.com](http://www.eijkelkamp.com)). Це комплекс стаціонарного польового встаткування для визначення надходження, міграції, використання і

балансу вологи, спостережень за водною ерозією і дефляцією і іншими ґрунтово-атмосферними процесами.

Англійська фірма ADC Bioscientific Ltd ([www.adc.co.uk](http://www.adc.co.uk)) робить устаткування для дослідження трансформації органічного вуглецю в системі ґрунт-атмосфера (акумуляції, секвестрації, емісії).

Німецька фірма Trime робить комплект устаткування для автоматичної реєстрації термодинамічних параметрів ґрунтової вологи.

Французька фірма Lumbrinus випускає пересувну аналітичну лабораторію для визначення безпосередньо в польових умовах забруднення ґрунтів різного походження.

Крім того, фірмами Великобританії, Німеччини, Франції виробляються різноманітні автоматичні кліматичні станції. Вони дозволяють контролювати велику кількість параметрів зволоження і температури приземного шару повітря, що істотно розширює дослідницькі можливості вивчення екологічних і продуктивних функцій ґрунтів на високому методичному рівні.

Для контролю фізичного стану ґрунтів розроблений пенетрометр з автоматичною реєстрацією показника під час виконання ґрунтообробної операції. Для цього пенетратор був закріплений на стійці глибокорозпушувача і був здатний вимірювати твердість на різних глибинах, у тому числі в підорному шарі, на глибині плужної підшви.

У Бельгії розроблений мобільний комплекс що дозволяє визначити безпосередньо в польових умовах загальний вміст органічного вуглецю і доступного фосфору, вологість і рН за допомогою навісного спектрофотометра. Після виконання технологічної операції на полі виявилось можливим одержати карту вмісту в ґрунті вимірюваного компонента. Порівняння карт, отриманих за допомогою мобільного комплексу і звичайним шляхом, дало цілком порівнянні контури.

Останнім часом розширюються можливості оцінки стану родючості ґрунту дистанційними засобами і, зокрема, за допомогою NDVI

(Normalized Difference Vegetation Index - нормалізований індекс розходжень у спектральній характеристиці рослинності). NDVI – загально прийнятий індикатор «зеленості» у відбитому від поверхні ґрунту сонячному випромінюванні. У деяких роботах він називається хлорофільним індексом і показує вміст хлорофілу в листі, що, як відомо, прямо пов'язане зі вмістом доступних форм азоту в ґрунті. В Англії з успіхом використаний цей метод для встановлення доз азотних добрив у підживленні озимої пшениці.

Використовуючи метод NDVI, у Росії (м. Санкт-Петербург, агрофізичний науково-дослідний інститут), розробили польовий оптичний тестер, здатний давати оцінку погіршеного або благополучного стану агроєкосистеми (ґрунту і рослинності). За величиною індексу можна коректувати дози застосовуваних добрив або діагностувати фізичний стан ґрунту на полі або його частині.

Таким чином, на наведених вище прикладах була показана безперечна перевага дослідження ґрунтів у режимах *in situ* і *on-line* у порівнянні зі звичайною технологією, що передбачає відбір численних зразків, транспортування їх у лабораторію і проведення камеральних аналітичних робіт. Нові підходи безсумнівно додадуть у розумінні сутності процесів ґрунтоутворення, родючості, їхньої динаміки. Головне ж - за допомогою даних, отриманих безпосередньо в полі, агротехнічні операції і взагалі процес керування родючістю стане більш точним, обґрунтованим і економічним.

### **8.10. Дистанційний**

Дані дистанційного зондування (ДЗ), гармонізовані з ГІС, - ще один перспективний напрямок удосконалювання досліджень ґрунтів. Можливості ДЗ для діагностики ґрунтів досить давно вивчаються і у цей час прояснені настільки, що цілком можуть розглядатися як реальний засіб для вирішення різноманітних завдань і, насамперед, для прискорення оцінок (за наявності потужного дешифрувального апарата) і залучення в

одночасний аналіз значних територій.

Спектральна відбивна здатність ґрунтів (коефіцієнти спектральної яскравості) є основою діагностики ґрунтів за допомогою дистанційних засобів. Ґрунти залежно від свого складу і властивостей мають різну відбивну здатність. Основний внесок у якісні характеристики спектра вносять вміст органічних речовин, співвідношення в них різних фракцій гумусу, гранулометричний склад, вміст окислів заліза, солей, вологості. У загальному виді відбивна здатність ґрунту збільшується зі збільшенням у його складі тонкодисперсних компонентів, залізистих з'єднань, гумусу, вологості. У різних частинах спектра (видимої і інфрачервоної) ці залежності мають різний характер (від прямолінійних до криволінійних великої складності). Каталогізація спектрів для різних умов, формалізація залежностей, автоматичні комп'ютерні методи розрахунку і діагностика - сьогодні всі ці питання досягли значного рівня розвитку.

З огляду на безперечно значні можливості ДЗ розглянемо це питання дещо докладніше. Сьогодні стало досить очевидно, що різноманітні засоби ДЗ (аеро-, фото-, космічна зйомки, а також матеріали телевізійного, теплового, мікрохвильового, радіолокаційного, лазерного, радарного і інших видів сканування), здійснені узгоджено і на геоінформаційній основі, створюють сприятливі передумови для одержання різноманітної інформації з високою оперативністю і навіть у режимі реального часу.

**Аерофотознімання.** Фотографування територій з літаків широко використовується в геології, гідрології, гідрографії, дослідженні лісів. Досвід вивчення ґрунтового покриву за допомогою аерофотознімання також досить значний. Накопичено велику кількість знімків, що розрізняються за масштабом, спектральній чутливості, передачі кольору. Розроблено багато методів дешифрування таких знімків і навіть технологія ґрунтових досліджень за допомогою матеріалів аерофотознімання. Установлені найбільш інформативний час для зйомок, оптимальні типи знімків. На аерофотознімках досить надійно встановлюються макро-, мезо-

і мікрорельєф, неоднорідності ґрунтового покриву, еродованість, засоленість, солонцюватість, ступінь зволоження, вміст гумусу, границі ґрунтових контурів. Все це добре доповнює інформацію, отриману звичайним наземним способом. Разом з тим, як відзначають відомі дослідники в області ДЗ ґрунтів М.С. Сімакова і І.Ю. Савін:

- ґрунт як цілісний об'єкт безпосередньо на аерофотознімках не зображується, не зображується будова генетичного профілю, не відображаються фізичні і хімічні властивості ґрунтових горизонтів, їхня потужність і інші характеристики. Навіть поверхня ґрунтів здебільшого закрита для фотографування. Тільки аерофотознімання розораних полів, не закритих культурною рослинністю, містять безпосереднє зображення поверхні ґрунту. Тільки лише розгляд поверхні ґрунту недостатньо для визначення його виду і різновиду навіть у наземних дослідженнях;

- дешифрування ґрунтів за аерофотозніманням виробляється тільки побічно, шляхом дешифрування форм рельєфу, рослинності, геологічної будови місцевості і результатів господарської діяльності. На аерофотознімках завдяки зміні тону відображаються деякі показники ґрунтів (вони перераховані вище). Прояв у ґрунтах цих характеристик приводить до строкатості рослинності, зниження вмісту гумусу.

Таким чином, тон і колір знімка, розміри і форма контуру, доповнені аналізом компонентів ландшафту, також видимих на знімках, є непрямими і не завжди надійними ознаками дешифрування ґрунтів.

У науковій літературі запропоновано чимало способів підвищення надійності ознак дешифрування. Надійність дешифрування аерофотознімків багато в чому залежить від озброєності ґрунтознавця-дешифрувальника знанням компонентів ландшафту, що він досліджує, і повноти наземної супровідної інформації. Про можливості аерофотознімання свідчить успішний досвід складання ґрунтових карт окремих територій, країн і цілих континентів (М.С. Сімакова).

***Космічна зйомка.*** Починаючи з 70-х років минулого сторіччя, у міру

розвитку космонавтики здійснюється зйомка ґрунтового покриву із супутників, що літають на великих висотах (понад 100 км). Для зйомки використовуються головним чином спеціальні фото- і телекамери, а також різні сканери і радари. Одержувана середньо-, дрібно - і оглядова інформація використовується для розробки відповідних ґрунтових карт або окремих їхніх властивостей (наприклад, першої такого роду картою була карта гумусового стану ґрунтів). Для дешифрування космічних матеріалів використовується раніше вироблена методологія стосовно до аерофотознімання, однак, з огляду на різноманіття космічних знімків, останню необхідно було істотно доробити.

Найбільшого розвитку в цей час досягли методологія ґрунтового картування за аеро- і космічними знімками. Зокрема, реалізовані можливості дешифрувати розміри, форму і границі об'єктів, видимих на знімках з досить високою розв'язною здатністю (долини, височини, болота й ін.), їхню контрастність, тональність (у тому числі за допомогою так званих денситометрів), колір (у різних спектрах) і інші характеристики. Аналіз ґрунтових неоднорідностей різного походження за допомогою потужних ЕОМ, здатних розрізняти в 2-3 більше тонів, чим потенційно може розрізнити людське око, дозволив одержати різномасштабні ґрунтові карти, насичені досить різноманітною інформацією. Особливого розвитку досяг математичний, логічний, статистичний і в цілому програмний апарат дешифрування зображення.

Одночасно розвиваються методи дешифрування властивостей ґрунтів за даними космічних зйомок. Найбільшою популярністю користується діагностика гумусного стану з урахуванням гранулометричного складу. Теоретично індикація вмісту гумусу в ґрунті можлива за оптичними характеристиками ґрунтів, що відомо в ґрунтознавстві давно (І.І. Карманов). Якщо ж її зробити в різних діапазонах спектра (видимому і ближньому інфрачервоному) з урахуванням різних довжин хвиль (каналів спектра), а також домогтися

стандартних умов зйомки (агрофон, хмарність, вологість), то виявиться можливою майже точна індикація вмісту гумусу в ґрунті. Останнє відкриває широкі можливості моніторингу вмісту гумусу в ґрунтах України. Для цього створені необхідні передумови:

- є дані гранулометричного складу з достатнім ступенем детальності;
- є регіональні моделі розрахункових рівнянь;
- є космічні знімки в необхідній зоні електромагнітного спектра, автоматизована обробка яких з урахуванням вимог геоінформаційних систем, не представляє скільки-небудь істотних труднощів;
- є досить однорідний агрофон - рілля (це чи не єдина перевага високої розораності території України для успішного впровадження дистанційних методів моніторингу).

*Інші види зйомок.* З інших, не відзначених вище способів дистанційного зондування, найбільше досліджено стосовно до завдань дослідження ґрунтів і найбільш перспективно радіолокаційне зондування (А.Б. Ачасов, 1997). Перспективи такого роду зондування визначаються можливостями простежити неоднорідності різного походження в ґрунтовому профілі (майже повністю, на глибину кореневмісного шару), пов'язані зі складом, щільністю укладання компонентів ґрунтів, вологістю і деякими іншими характеристиками. Із зазначених можливостей впливає, що такі процеси як ерозія, переущільнення, аридизація або гідроморфність ґрунтів і деякі інші досить упевнено можуть бути діагностовані за допомогою багатоканальної радіолокаційної зйомки. Перевага останньої пояснюється значно меншою (у порівнянні з аерофотоматеріалами або космічним скануванням) залежністю від погодних умов, стану агрофона, часу доби, однак у розв'язній здатності радіолокація уступає іншим видам ДЗ.

На жаль, переваги лазерного, теплового, телевізійного, мікрохвильового зондування стосовно до вивчення ґрунтів досліджені поки недостатньо.

Не можна не підкреслити, що дистанційний моніторинг сільськогосподарських посівів у світі більш розвинений, чим моніторинг ґрунтового покриву. Наприклад, тільки в США функціонує дві системи такого моніторингу (USDA і USAID FEWS NET). Саме тому Уряд США має завчасний прогноз величини врожаю в більшості країн, що виробляють зерно, у тому числі й в Україні і можуть впливати на ринкову кон'юктуру. Відома також система FAO (GIEWS), система європейської комісії (MARS). В останні роки одержав популярність китайський моніторинг рослинності (CCWS), французький GEOSYS, австралійський AGRECON, моніторинг Бельгії, Індії й інші.

#### ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Стаціонарний польовий та вегетаційний досліди.
2. Математичне педотрансферне моделювання
3. Геостатистика як перспективний напрямок вивчення фізичних властивостей ґрунтів.
4. ГІС-технології.
5. Вивчення ґрунтів у режимі *in situ* і *on-line*
6. Дистанційне зондування як перспективний напрямок удосконалювання досліджень ґрунтів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бахтин П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. Москва. «Колос». 1969, 272 с.
2. 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.
3. Гордієнко В.П., Малієнко А.М., Грабак Н.Х. Прогресивні системи обробітку ґрунту. Симферополь, 1998, 279 с.
4. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь. М., Сельхозгиз, 1953, с. 152.
5. 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.
6. Долгов С.И., Модина С.А. О некоторых закономерностях зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от плотности почвы. Теор. вопросы обработки почвы. Л., Гидрометеиздат, 1969, с. 54-64.
7. Дояренко А.Г. Избранные сочинения. Изд. с.-х. литературы, журналов и плакатов. М., 1963, 495 с.
8. 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.
9. Качинский Н.А. Оценка основных физических свойств почв в агрономических целях и природного плодородия их по механическому составу. Почвоведение, 1958, № 5, с. 80-83.
10. Качинский Н.А. Физика почв. Ч.1. М., изд. МГУ, 1965, 323 с.
11. Качинский Н.А. Физика почв. Ч.2. М., изд. «Высшая школа»,

1970, 360 с.

12. Кузнецова И.В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв. Почвоведение, 1979, №3, с. 81-88.
13. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. Москва. ВО «Агропромиздат», 1988, 160 с.
14. Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков. Изд. «13 типография». 2008, 406 с.
15. Медведев В.В. Твердость почвы.- Харьков: Изд. КП «Городская типография». 2009. - 152 с.
16. Медведев В.В. Физическая деградация черноземов. Диагностика, причины, следствия, предупреждение. – Харьков: Изд-во «Городская типография», 2013. – 324
17. Медведев В.В., Лактионова Т.Н., Донцова Л.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Харьков: Апостроф, 2011. 224 с.
18. Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Е. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты. Харьков. Городская типография. 2004, 244 с.
19. Медведев В.В. Нульовий обробіток ґрунту в європейських країнах. Харків. ТОВ «ЕДЕНА», 2010, 202 с.
20. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України. За редакцією М.В.Зубця і ін. Київ. «Логос». 2010, 980 с.
21. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західному регіоні України. За редакцією М.В.Зубця і ін. Київ. «Урожай». 2010, 944 с.
22. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Степу України. За редакцією М.В.Зубця і ін. Київ. «Аграрна наука». 2010, 986 с.
23. Основы агрофизики (под ред. А.Ф.Иоффе и И.Б.Ревута). М.,

Физматгиз. 1959, 904 с.

24. Переуплотнение пахотных почв (причины, следствия, пути уменьшения). Под ред. чл.-кор. АН СССР В.А. Ковды. М. «Наука», 1987, 216 с.», 1987, 216 с.

## ДОДАТКИ

Додаток 1.

### Основні показники оцінювання фізичної деградації ґрунтів

Показник	Ступінь деградації				
	відсутня	слабка	помірна	сильна	катастрофічна
Рівноважна щільність будови, збільшення*	<10	11-20	21-30	31-40	>40,0
Структурний склад (уміст повітряно-сухих агрегатів 0,25-10,0 мм в орному шарі), зменшення*	<15	16-25	26-35	36-45	>45
Агрегатний склад (уміст водостійких агрегатів > 0,25 мм), зменшення*	<10	11-20	21-30	31-40	>40

Додаток 2.

### Додаткові показники оцінювання фізичної деградації ґрунтів

Показник	Ступінь деградації				
	відсутня	слабка	помірна	сильна	катастрофічна
Гранулометричний склад, зменшення умісту фізичної глини*	<5	6-15	16-25	26-32	>32
Найменша вологоємність, зменшення*	<5	6-10	11-15	16-20	>20
Максимальна гігроскопічність, зменшення*	<5	6-15	16-25	26-32	>32
Вологість стійкого в'янення рослин, зменшення*	<5	6-10	11-15	16-20	>20
Середня глибина залягання рівня ґрунтових вод, зменшення*	<10	11-20	21-30	31-40	>40
Температура ґрунту, збільшення*	<5	6-15	16-25	26-32	>32

Ступінь деградації: 0 – умовно нульова (ґрунт не порушений); 1- низька (ґрунт порушений, але можливе його самовідновлення за існуючого рівня навантаження) ; 2 – середня (ґрунт порушений, його самовідновлення можливе за зниження існуючого рівня навантаження; 3 - висока (ґрунт сильно порушений, його самовідновлення неможливе); 4 – надзвичайно високий (ґрунт необоротно порушений, його відновлення неможливе). Під вихідним розуміється стан недеградованого аналога (нульовий рівень деградації).

Карта ґрунтів України



Код ґрунту на карті	Площа		Код ґрунту на карті	Площа	
	га	%		га	%
1	2271956,05	3,86	21	329019	0,56
2	1203495,42	2,05	22	420792,74	0,72
3	2107768,14	3,58	23	436907,86	0,74
4	1517450,42	2,58	24	361624,32	0,61
5	520959,71	0,89	25	706668,98	1,20
6	3858517,76	6,56	26	1130904,04	1,92
7	2541553,17	4,32	27	459966,64	0,78
8	3025782,96	5,15	28	286119,74	0,49
9	22367,13	0,04	29	910472,832	1,55
10	1392357,23	2,37	30	918812,82	1,56
11	6699888,91	11,39	31	103703,09	0,18
12	1895875,19	3,22	32	1593318,64	2,71
13	2704565,08	4,60	33	78934,875	0,13
14	3264688,01	5,55	34	235194,64	0,40
15	4319547,08	7,35	35	1965183,94	3,34
16	2437979,25	4,15	36	420089,54	0,71
17	3438418,85	5,85	37	182898,611	0,31
18	451898,86	0,77	38	2237873,29	3,81
19	953486,53	1,62	39	66442,89	0,11
20	1143390,57	1,94	40	187737,17	0,32

## Агрогрунтове районування України



П — зона мішаних лісів дерново-підзолистих типових і оглеєних ґрунтів Українського Полісся:

- П1 — західна провінція;
- П2 — центральна правобережна провінція;
- П3 — лівобережна висока провінція;
- П4 — лівобережна низинна провінція.

ЛС — Лісостепова зона чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів:

- ЛС1 — західна провінція;
- ЛС2 — правобережна центральна висока провінція,
  - ЛС21 — північна підпровінція,
  - ЛС22 — південна підпровінція;
- ЛС3 — лівобережна низинна провінція,
  - ЛС31 — північна підпровінція,
  - ЛС32 — південна підпровінція;
- ЛС4 — лівобережна висока провінція,
  - ЛС41 — північно-західна підпровінція,
  - ЛС42 — західна підпровінція.

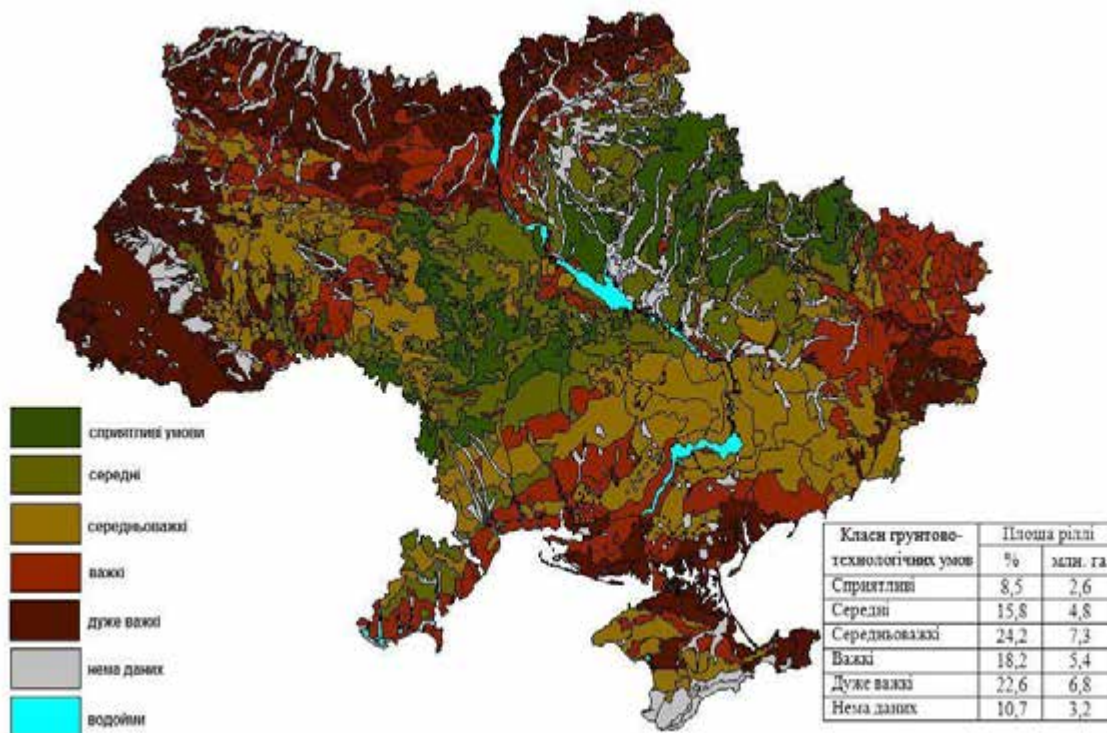
С — Степова зона чорноземів звичайних та південних:

- СА — підзона чорноземів звичайних північного Степу,
  - СА1 — південно-західна провінція,
  - СА2 — Дністровсько-Дніпровська провінція,
  - СА3 — Дніпровсько-Донецька провінція,
  - СА4 — Донецька провінція,
  - СА5 — Задонецька провінція,
- СБ — підзона південно-степових чорноземів південних,
  - СБ1 — Придунайська провінція,
  - СБ2 — Азово-Причорноморська провінція,
  - СБ3 — Кримська провінція,
  - СБ4 — Керченська провінція.

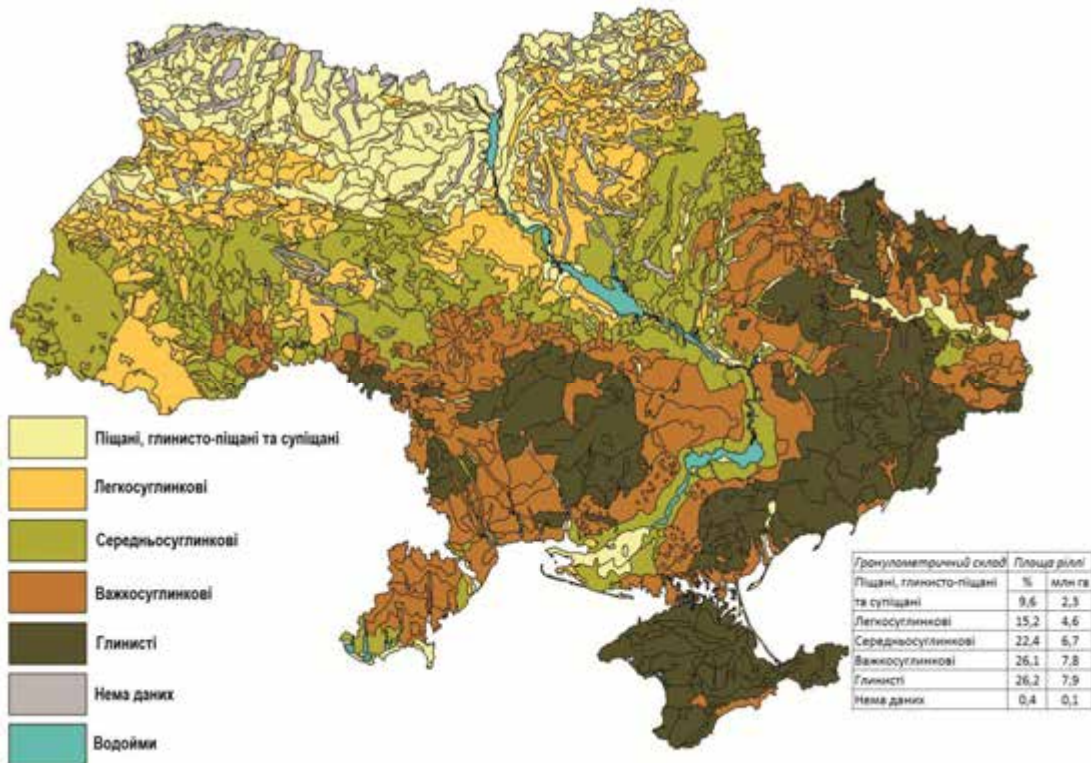
- СС — Сухостепова зона темно-каштанових та каштанових ґрунтів:  
 СС1 — Причорноморська провінція,  
 СС2 — Північно-Кримська провінція.
- К — зона буроземних ґрунтів Українських Карпат:  
 КЗН — провінція лучно-буроземних оглеєних ґрунтів Закарпатської низовини;  
 КП — зона бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів передгір'їв до 300–500 м а. в.;  
 КПЗ — зона буроземів опідзолених оглеєних закарпатського передгір'я до 125–400 м а. в.  
 КПЛ — зона гірсько-лучних буроземів полонин з 1200–1500 м а. в.
- КГ — зона гірсько-лісових буроземів до 500–1500 м а. в.
- Кр — ґрунтові зони Гірського Криму:  
 КрС — зона чорноземів передгірного Степу,  
 КрЛС — зона ґрунтів передгірного Лісостепу,  
 КрГ — зона буроземів гірсько-лісових,  
 КрЯ — зона гірсько-лучних ґрунтів яйл,  
 КрП — зона коричневих ґрунтів південного схилу головного гірського хребта.

Додаток 5.

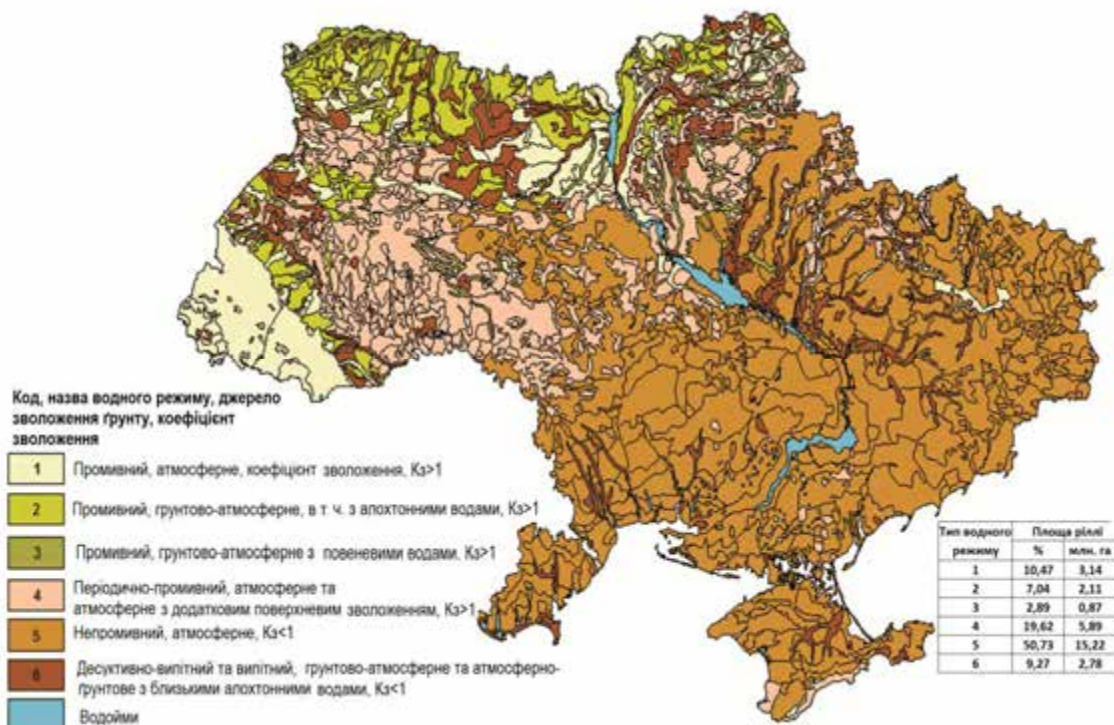
### Ґрунтово-технологічне районування орних ґрунтів України



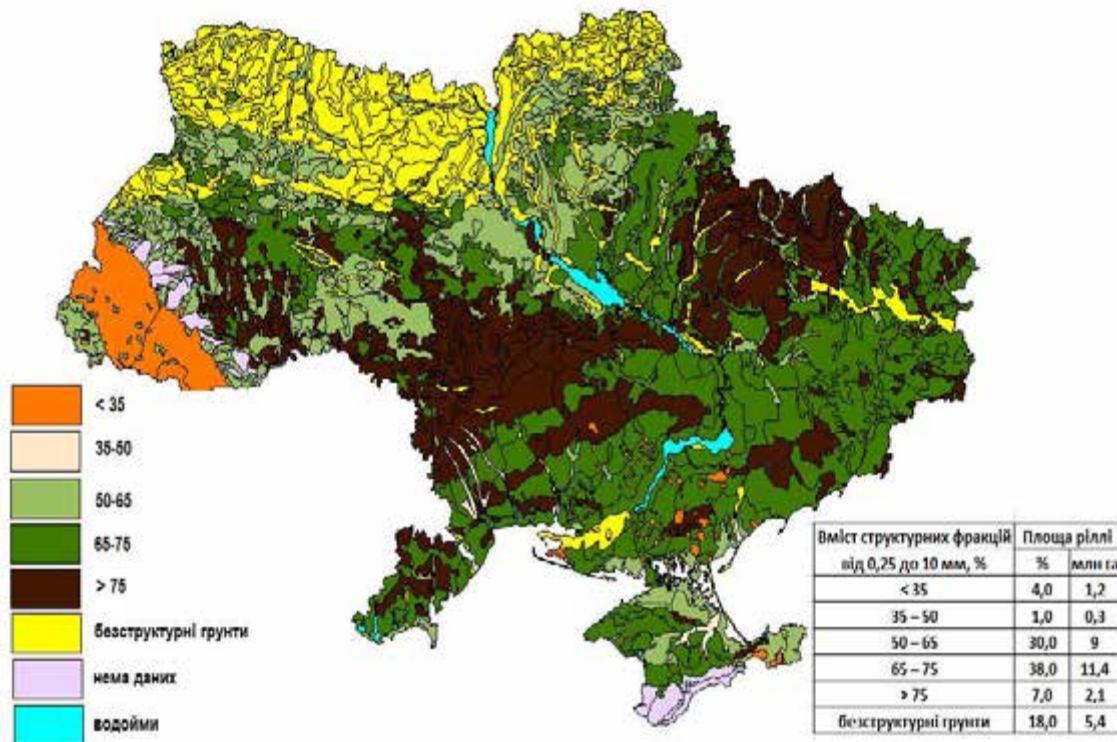
### Гранулометричний склад ґрунтів України



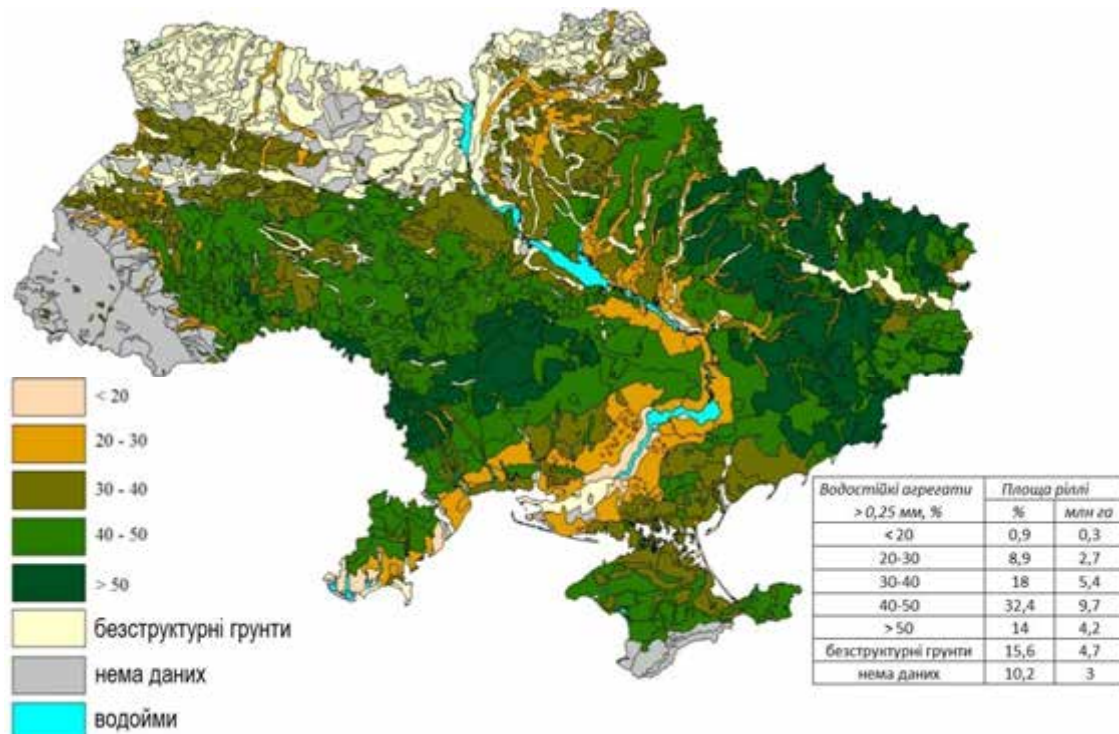
### Типи водного режиму ґрунтів України



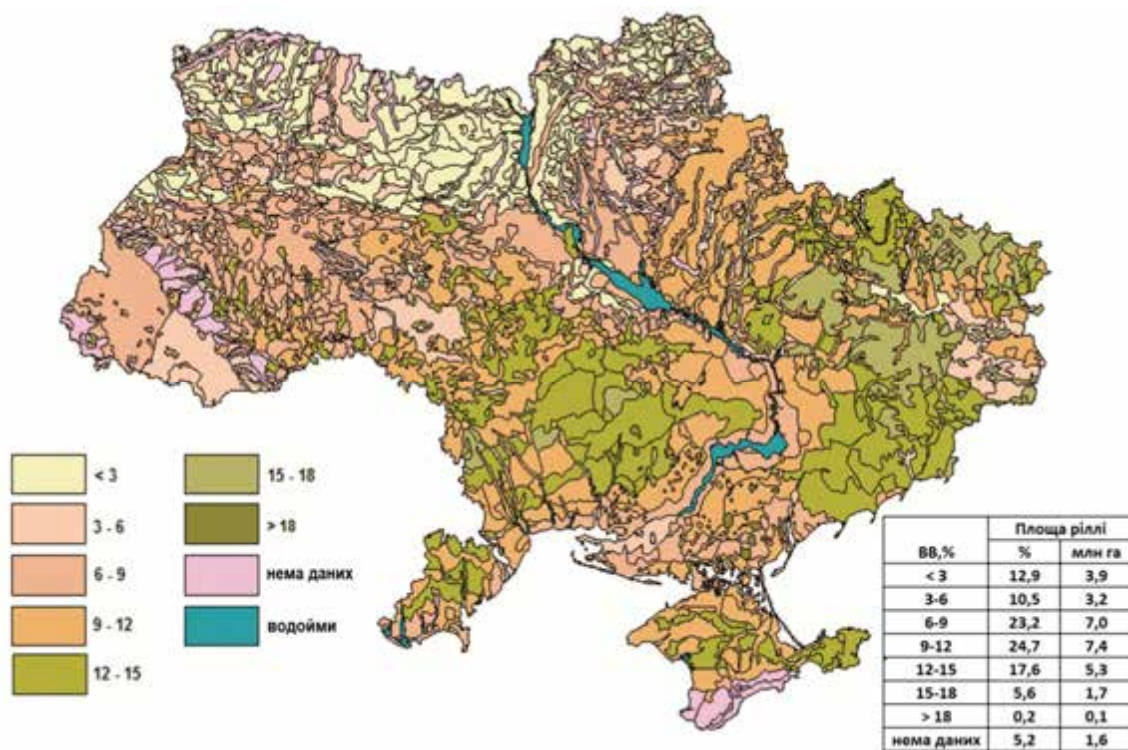
### Вміст агрономічно цінної фракції структури



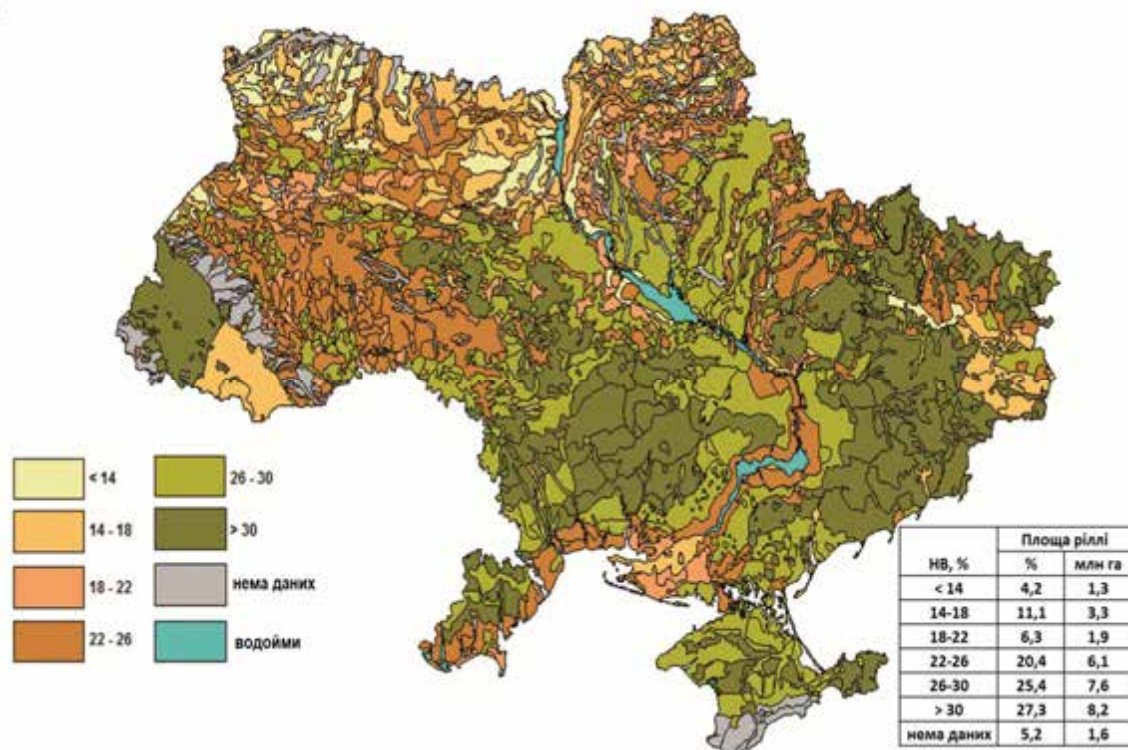
### Водостійкість структури орних ґрунтів України



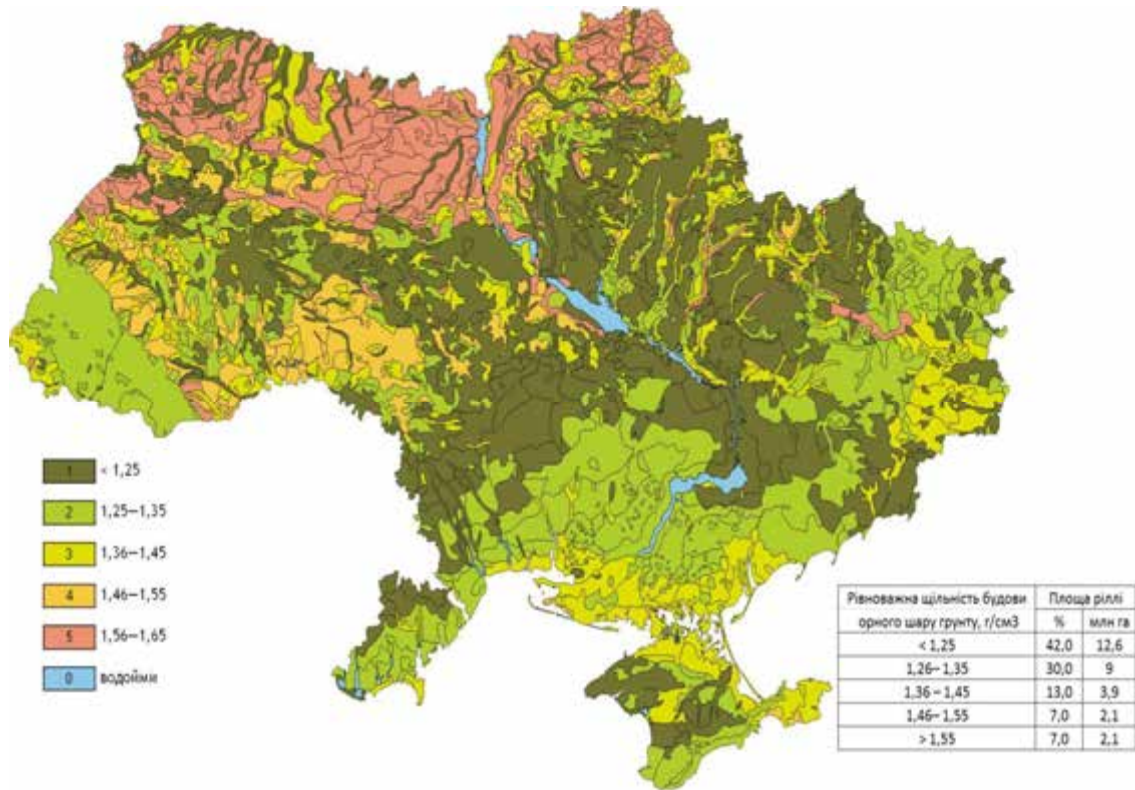
### Вологість в'янення в орному шарі



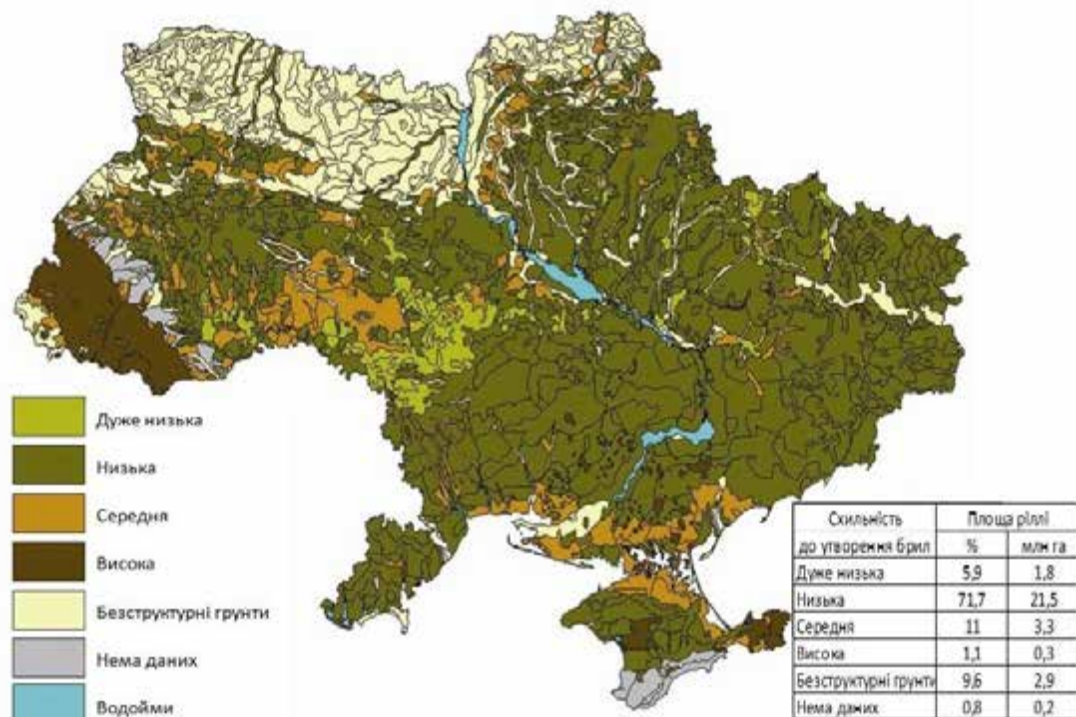
### Найменша вологоємність в орному шарі



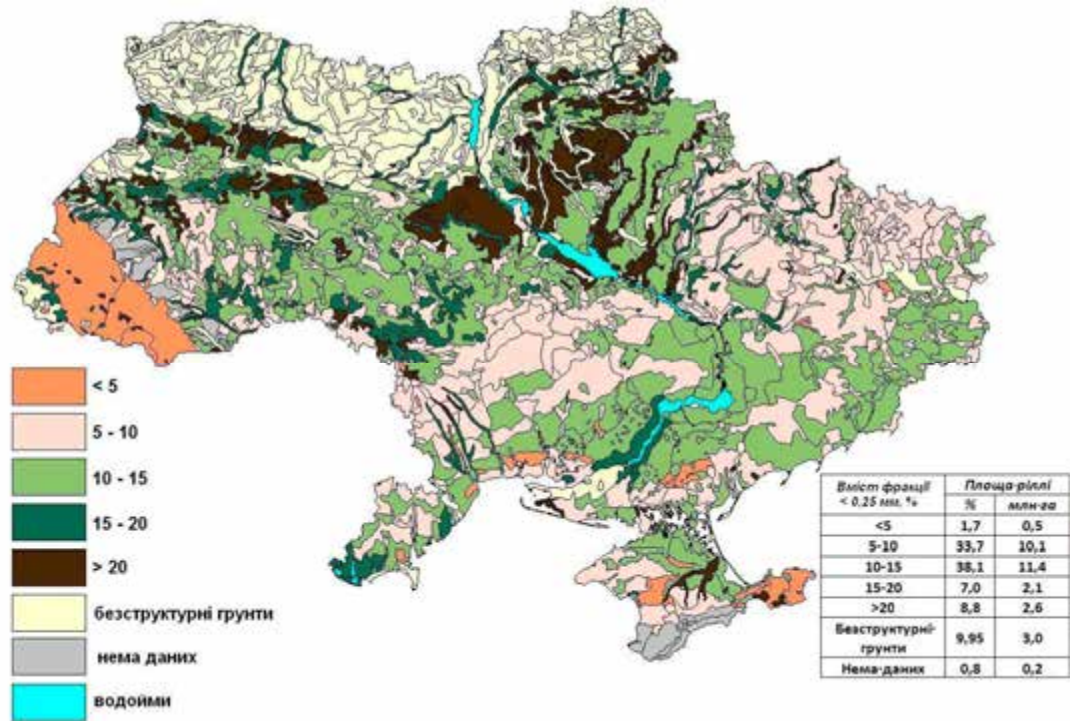
**Рівноважна щільність будови орного шару, г/см<sup>3</sup>**



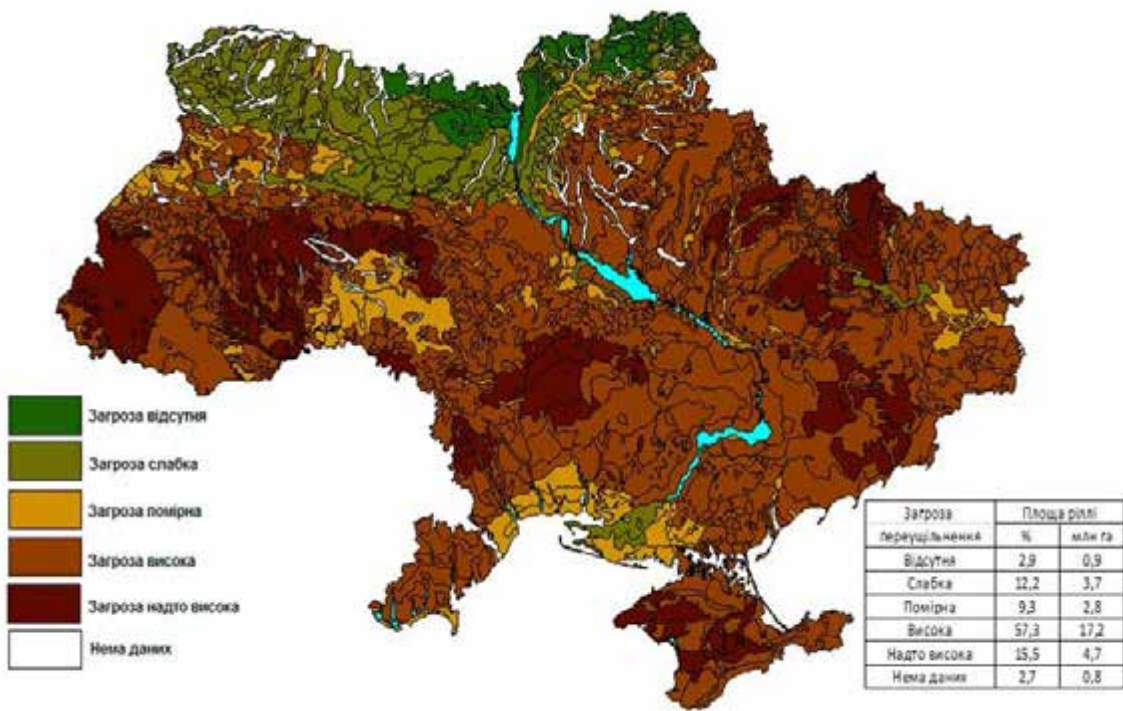
**Площа орних ґрунтів України з ризиком прояву брилистості**



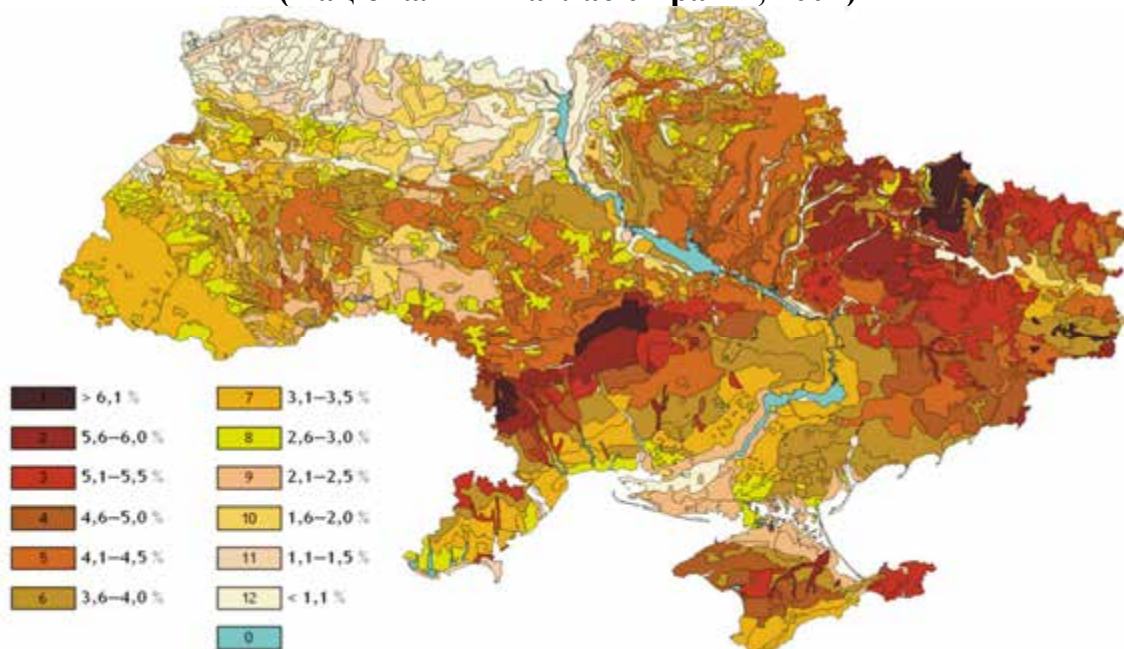
**Площа орних ґрунтів України з ризиком прояву розпилення**



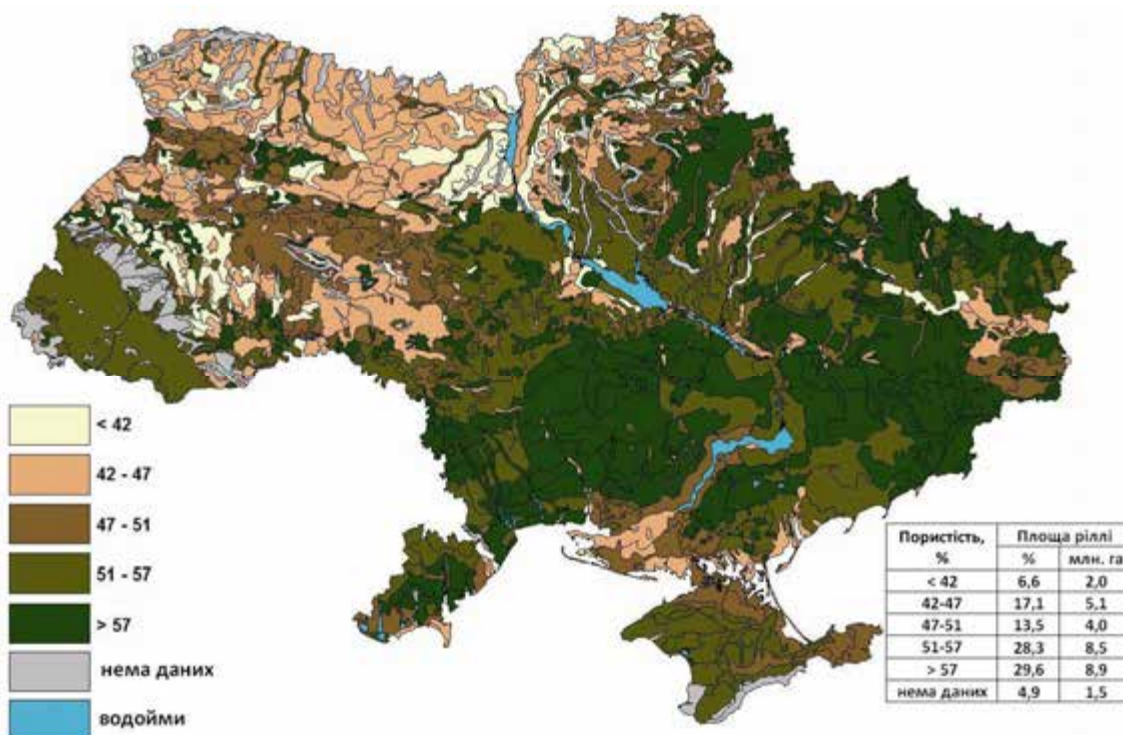
**Площа ґрунтів із різною небезпекою переущільнення**



**Уміст гумусу в орних ґрунтах України  
(Національний атлас України, 2007)**



**Загальна пористість ґрунтів у орному шарі**



**Грунтові ресурси України**  
**Структура ґрунтового покриву України**

Ґрунт	Площа, тис. га	
	с.-г. угіддя	рілля
Дерново-підзолистий	2511,2	2209,9
Дерновий оглеєний	1674,2	691,0
Дерново-карбонатний	146,9	137,8
Сірий лісовий	2620,5	1985,6
Темно-сірий опідзолений	1952,0	1867,7
Чорнозем:		
опідзолений	2274,3	2105,1
типовий	7346,8	6997,8
звичайний	11504,7	9209,8
південний	3259,5	2993,8
Темно-каштановий солонцюватий	1194,5	1090,3
Каштановий солонцюватий	100,9	79,8
Бурозем кислий	307,3	85,0
Буроземно-підзолистий кислий оглеєний	105,8	44,8
Лучно-буроземний кислий оглеєний	104,4	39,3
Коричневий	29,1	7,6
Лучно-чорноземний і лучний	2996,0	935,7
Лучно-каштановий солонцюватий	144,4	111,7
Лучно-болотний і болотний	926,9	163,2
Торф'яники	595,8	100,8
Інші	2140,1	1812,1
<b>Усього</b>	<b>41829,5</b>	<b>32668,8</b>

## Ресурси земель і чорноземні ґрунти окремих держав

Держави	Населення, млн. чол.	Площа					
		Ґрунти		Рілля		Чорноземи	
		Усього, млн. га	На 1 жит., га	Усього, млн. га	На 1 жит.,га	Усього, млн. га	На 100 жит.,га
Україна	45,6	60,4	1,32	32,4	0,71	27,8	61,0
Росія	143,1	1710,0	11,95	123,9	0,87	145,4	102,0
Польща	38,2	31,3	0,82	14,2	0,37	0,4	1,0
Румунія	21,5	23,8	1,11	9,3	0,43	1,6	7,4
Німеччина	81,7	35,7	0,44	11,8	0,14	0,7	0,8
Китай	1350,5	959,7	0,71	143,6	0,10	38,0	2,8
Канада	34,9	998,5	28,61	45,4	1,30	7,6	21,8
США	313,3	951,9	3,04	175,2	0,56	55,1	17,6

**МЕДВЕДЄВ**

Віталій Володимирович

**БУЛИГІН**

Сергій Юрійович

**ВІТВИЦЬКИЙ**

Станіслав Валерійович

**ПІСКО**

Ірина Владленівна

## **АГРОФІЗИКА ҐРУНТУ**

Навчальний посібник