

# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.445:621.43  
© 2010

*В.В. Медведєв,  
академік УААН*

*Національний  
науковий центр «Інститут  
грунтознавства та агрохімії  
імені О.Н. Соколовського»*

## **ТВЕРДІСТЬ ҐРУНТУ ЯК КРИТЕРІЙ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ З ЙОГО ОБРОБІТКУ**

*Узагальнено дані про твердість орних ґрунтів  
країни перед передпосівним і основним  
обробітками. Встановлено параметри твердості,  
за якими обробіток ґрунту можна мінімізувати.*

Твердість — важливий генетичний і агрови-робничий показник, за яким характеризують фізико-механічні властивості ґрунтів. Під час росту кореня або руху 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 він практично позбавлений вільної вологи й максимально консолідований. Через значну залежність твердості від вологості складно порівнювати дані різних об'єктів між собою. Однак з урахуванням того, що обробіток більшості ґрунтів і особливо навесні проводиться в стані зволоження, рівного або близького до фізичної спільності, 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 — здатності кореневих волосків освоювати не тільки між-, а й внутрішньоагрегатний простір. За допомогою твердості легко встановити конфігурацію плужної підшви й вирішити питання про те, чи потрібно її руйнувати. Водночас це можна віднести і до ґрунтової кірки, твердість якої визначає вибір знаряддя для розпушування ґрунту й у цьому випадку. Однак донині визначення твердості ще не одержало широкого поширення в агрономічній практиці та конструюванні ґрунтообробних знарядь.

**Мета роботи** — 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.

**Об'єкти й методи.** Використано дані лабора-

торії геоєкофізики ґрунтів ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», зібрані під час проведення експедиційних робіт і польових дослідів з обробітком практично в усіх природних зонах країни. Твердість вимірювали методом Ревякіна в 10-разовому повторенні із застосуванням плаского й клиноподібного плунжерів.

**Результати і їхнє обговорення.** Розглянемо дані твердості посівного (0—10 см) і орного (0—30 см) шарів ґрунту за вологості фізичної спільності, які можна вважати діагностичними перед проведенням обробітку (табл. 1). Відомо, що фізична спільність означає таке співвідношення між твердою й рідкою фазами ґрунту, за якого ґрунт легше піддається кришненню 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. Під час розпушування ґрунту в стані фізичної спільності спостерігають переважно ошадливі розклинювальні деформації, фактично не відбувається надлишкового здавлювання, різання, скручування ґрунту й взагалі грубого впливу робочих органів ґрунтообробних знарядь на ґрунт. Унаслідок цього не утворюються брили й пил.

Зазвичай фізична спільність настає тоді, коли вологість ґрунту перебуває в діапазоні від 0,6 до 0,9 найменшої вологоємності, за консистенції ґрунту, близької до нижньої межі пластичності, чи досягненні опором зсуву мінімальних значень. Важливо, що залежність твердості від вологості, як установив ще П.У. Бахтін [1], має переважно лінійний характер, а показники, що визначають кришення (зсув, зчеплення й внутрішнє тертя), підкоряються гіперболічній формі зв'язку з мінімальним проявом цих властивостей у стані, що відповідає нижній межі Аттерберга. Отже, знайти просту модель, що зв'язує твердість з

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

| Ґрунт                                  | Гранулометричний склад | Фізична сплість, % | Твердість ґрунту перед обробітками |          |
|--|------------------------|--------------------|------------------------------------|----------|
|  |                        |                    | передпосівним                      | основним |
| 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    |

фізичною сплістю, принципово можна, але важко внаслідок нелінійності й складності моделі. Ми спробували знайти ключові параметри твердості для стану вологості, що відповідає оптимальному кришенню, скориставшись картою фізичної сплості ґрунтів [6], базою залежностей між твердістю і вологістю, що маємо, а також даними П.У. Бахтіна [1].

З огляду на встановлені параметри можна зробити такий висновок: якщо твердість ґрунту перед проведенням обробітку близька до показаного в таблиці значення, то обробляти ґрунт можна з мінімальними зусиллями і не застосовувати інтенсивні багатоопераційні технології. Але необхідно зазначити, що наведені в табл. 1 показники твердості ґрунту перед передпосівним обробітком переважно дещо вищі тих, що можуть подолати кореневі волоски й сходи рослин. Тому вимоги до твердості ґрунту у цей період більш жорсткі. Показові значення твердості для цих випадків наведено в табл. 2. Якщо ж показники твердості ґрунту після проведення відповідного обробітку перевищують наведені в табл. 2 значення, то оброблюваний шар потребує додаткового розпушування.

З огляду на значні інформаційні можливості твердості для діагностування фізичного стану ґрунту, логічно припустити, що за допомогою показників твердоміра виявиться коректною рекомендація про диференціацію обробітку залежно від стану ґрунтів перед його проведенням. В аг-

рономічній інтерпретації, наведеній у табл. 2, можуть допомогти дані рисунку про зв'язок твердості зі щільністю будови. Щільність будови більше досліджена й тому з її допомогою можна розробити відповідні рекомендації, спираючись на дані твердості. Результати показано в табл. 3. Джерелом для складання цієї таблиці були 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 розробці класифікації брали до уваги, що найкращі фізичні умови в ґрунті формуються за невисоких (не більше 10—15 кгс/см<sup>2</sup>) параметрів твердості. З огляду на рисунок відповідним показникам щільності будови це відповідає не більше як 1,3—1,35 г/см<sup>3</sup>. Далі, зі зміцненням ґрунту, фізичні властивості погіршуються й для одержання сприятливого фізичного стану потрібно більш інтенсивне його розпушування.

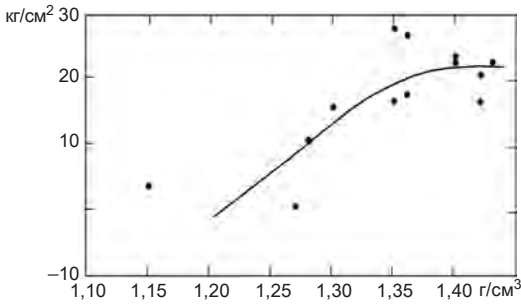
Зі зростанням твердості ґрунту число й глибина механічних передпосівних розпушувань повинні зростати. З огляду на те, що вологість ґрунтів восени перед проведенням основного обробітку зазвичай на 10—20% нижче вологості фізичної сплості, то рівнозначні показники твердості виявилися приблизно на таку саму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

Отже, шляхом проведення відповідних вимірів твердості ґрунту в період, що передують проведенню його обробітку (твердоміром з конічним плунжером), і порівняння одержаних даних з табличними можна вирішити питання щодо обробітку поля. Якщо виміряні показники щільності ґрунту виявляться менше табличних (для відповідних періодів обробітку), то у проведенні обробітку немає ніякої необхідності. Однак, як і у випадку зі щільністю будови, треба мати на увазі, що цей висновок характеризує потенційні можливості даного ґрунту не зміцнюватися вище припустимої величини.

Питання про глибину і спосіб основного обро-

**2. Твердість перед передпосівним обробітком, коли додаткове розпушування не потрібне**

| Обробіток                         | Твердість, кгс/см <sup>2</sup> |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Основний обробіток під посів:     |                                |
| пшениці озимої                    | <10                            |
| культури ярої                     | 10—20                          |
| Весняне боронування під культуру: |                                |
| крупнонасінове                    | 5—7                            |
| дрібнасінове                      | 3—5                            |
| Передпосівні культивачії          | 5—8                            |



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

бітку також можна вирішити з використанням спостережень за твердістю ґрунту. При цьому принципово важливо прийняти (аналогічно тому, як це припускається за використання даних щільності будови), що за оптимальних параметрів твердості ґрунту 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 підвищується 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 вирішення питання щодо проведення додаткового обробітку, спрямованого на знищення плужної підшви, поверхневої кірки, післяплужних розпушувачів тощо. Агроном ніни не має у своєму розпорядженні необхідного інструментарію для оптимального вирішення питання про необхідність або доцільність таких обробітків. Твердість у цьому разі може бути 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 під час проходу плуга в зоні контакту його леза й ґрунту формується зона надзвичайно високого тиску. На жаль, ні про конфігурацію плужної підшви, ні про ступінь нанесеної шкоди родючості ґрунтів і врожаю ясності немає. Спираючись на зібрані нами дані, можна стверджувати, що твердість у плужній підшві за перевищення 35—40 кгс/см<sup>2</sup> завдає шкоди зростаючим корінням, обмежуючи їхній ріст у глибині профілю. Це означає, що за такої твердості зменшуються адаптивні можливості культур, особливо в умовах нестачі доступної ґрунтової вологи. Водночас це свідчить, що з плужною підшвою варто боротися не тільки пасивними профілактичними заходами, а й за допомогою періодичного глибокого розпушування. Узагальнення стаціонарних польових дослідів з поглибленням оранки до 30—32 см і навіть 34 см [2], проведе-

них у різних зонах країни, показали неефективність такого поглиблення. Однак у більшості дослідів не було контролю твердості і досліді вели в умовах досить високої культури землеробства, де плужної підшви могло й не бути. Тому, на нашу думку, за наявності зазначених нами критичних величин твердості періодичне поглиблення основного обробітку ґрунту 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 дають дані табл. 4, здобуті в результаті їхнього обстеження за допомогою твердоміра. Добре помітна висока строкатість прояву плужної підшви — від повної відсутності (унаслідок підвищеного зволоження через погано працюючу осушувальну систему в Маневицькому районі Волинської області) до помітної переваги в ґрунтовому покриві поля з параметрами, які, як ми вважаємо, вимагають вживання заходів з її усунення. З наведених даних можна зробити дуже важливий практичний висновок: обстеження полів на твердість у плужній підшві необхідне, тим більше, що воно займає порівняно небагато часу. Так, обстеження одного поля за попередньо наміченою регулярною сіткою елементарних ділянок разом з обробкою й побудовою карти потребує не більше одного робочого дня.

*Ґрунтова кірка* — надзвичайно актуальний об'єкт для дослідження за допомогою твердоміра. Виміри міцносних параметрів кірки практично відсутні, а знаряддя для знищення кірки вибирають «на око», не порівнюючи механічний вплив з її міцністю. Таке відношення до кірки нічим не виправдано, особливо якщо враховувати її поширення й завдану шкоду, що знижує врожай. За нашими даними, кірка тією чи іншою мірою проявляється на 38% ріллі країни [5], а зниження врожаю може бути від 10 до 100%. Т.Є. Личук [3] виміряв міцність кірки твердоміром і одержав величину на контролі 5,85 мПа, у варіантах з ґрунтозахисним обробіткою й унесенням гіпсу з одночасним посівом трав міцність кірки істотно знизилася. Кірки не було зовсім там, де посів пшениці здійснено по люцерні, посіяній роком раніше й використаний в наступному році як мульчі з покриттям 50%.

### 3. Якісна оцінка ріллі за даними твердості ґрунтів

| Гранулометричний склад ґрунтів | Твердість, кгс/см <sup>2</sup> | Якісна оцінка фізичного стану ріллі |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 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                               |

**4. Твердість у плужній підшві, що перевищує 40 кгс/см<sup>2</sup>, у деяких полях Полісся й Лісо-степу України**

| Адреса                               | Ґрунт  | Площа поля, га | Частина поля з твердістю у плужній підшві вище 40 кгс/см <sup>2</sup> |      |
|--------------------------------------|--|----------------|---|------|
|                                      |  |                | га  | %    |
| Волинська обл., Маневицький р-н      | Комплекс дерново-підзолистих ґрунтів різного ступеня оглеєння            | 11             | 0   | 0    |
| Волинська обл., Луцький р-н          | Комплекс чорноземів опідзолених, темно-сірих і сірих опідзолених ґрунтів | 63             | 0,1   | 0,5  |
| Чернігівська обл., Чернігівський р-н | Дерново-середньопідзолистий  | 105            | 56,6  | 59,5 |
| Харківська обл., Харківський р-н     | Темно-сірий опідзолений  | 31             | 8,5   | 27,5 |
|                                      | Чорнозем типовий   | 30             | 0,7   | 2,4  |

Твердість ґрунту може використовуватися для обґрунтування конструктивних особливостей ґрунтообробних знарядь. Відомо, що 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 спиратися 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 більшими кутами атаки й кількістю робочих поверхонь.

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

У табл. 5 наведено дані основних видів опорів

ґрунтів України, отримані науковим співробітником В.Г. Цибулько під нашим керівництвом.

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 здійснювати клиноподібним робочим органом з мінімальним кутом атаки й відповідно мінімальною витратою енергії. Потрібно зазначити, що в чорноземі типовому середнього гранулометричного складу, добре гумусованого і оструктуреного, кришення (за вологості фізичної спільності) саме так і здійснюється. Тут не потрібні повторні й глибокі культивування, ґрунт легко кришиться, як зазначав 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 вида-

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

| Щільність будови, г/см <sup>3</sup> | Вологість ґрунтів, % маси | Опір ґрунту, кПа |       |             | Потенціал міцності, кПа | Рівень припустимого впливу на ґрунт, кПа |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|-------|-------------|-------------------------|--|
|                                     |                           | розриву          | зсуву | здавлюванню |                         |  |
| 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                                     |

ляти 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 кута атаки клину або 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 внутрішньо-агрегатних зв'язків (але без руйнування агрегатів агрономічно корисного розміру), що досягається клином зі збільшеним кутом атаки або збільшенням числа робочих поверхонь.

Двоступінчастий характер обробітку, що базується на подоланні спочатку опору розриву, а потім опору зсуву, здається найбільш прийнятним 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 напрямом у конструюванні ґрунтообробних машин.

Отже, при конструюванні адаптивних робочих органів ґрунтообробних машин їхній вплив на ґрунт повинен порівнюватися з опором ґрунтів розриву (це приблизний аналог опору ґрунтів розклинюванню, отриманий за допомогою твердоміра за клиноподібним плунжером з невеликим кутом атаки) і опором ґрунтів зсуву (це приблизний аналог опору ґрунтів розклинюванню, отриманий за допомогою твердоміра з плунжером, що має великий кут атаки). Сума цих двох видів опору повинна утворити величину припустимого

впливу на ґрунт, що, як ми впевнені, упереджуватиме машинну деградацію ґрунтів.

Відзначимо, що з урахуванням цього широке застосування твердоміра Рев'якіна з плоским плунжером ніяк не обґрунтовано. Адже твердість, що визначається з його допомогою, не адекватна жодному з наведених опорів. Як ми 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 здавлюванню. Це, як встановлено [4], найбільш грубий вид впливу на ґрунт, після якого порушується здатність ґрунту відновлювати властиві йому параметри. Це відбувається внаслідок консолідації ґрунту, видавлювання вологи з тонких пор і в цілому абіотизації ґрунту. Непомірно здавлений ґрунт, позбавлений живих коренів і мікробіологічної активності, може перебувати в такому стані невизначено тривалий час, чого допускати ніяк не можна. Тому такий опір, що долається у процесі обробітку, повинен бути виключеним.

На жаль, конструктори робочих органів ґрунтообробних машин не враховують досить складні механізми формування міцносних властивостей ґрунту. Робочі органи в основному уніфіковані, а їхній вплив на ґрунт, зазвичай, перевищує відповідні сили опору ґрунтів. Якщо ґрунтообробні знаряддя конструюватимуться так і надалі, то неминуче виникатимуть зайві сили, спрямовані на руйнування ґрунту. Звідси також неминуче руйнування агрономічно корисної структури й розвиток деградаційних процесів.

## **Висновки**

*Узагальнено інформацію про твердість орних ґрунтів України навесні і восени відповідно перед передпосівним і основним обробітками.*

*Опрацьовано класифікацію ґрунтів і обґрунтування щодо мінімізації обробітку, спираючись на показники твердості.*

*Внесено пропозиції щодо конструювання ґрунтообробних робочих органів з урахуванням реальних параметрів опору ґрунту розриву, зсуву і здавлюванню, що унеможливить процеси машинної (фізичної) деградації ґрунтів.*

## **Бібліографія**

1. Бахтин П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. — М.: Колос, 1969. — 272 с.
2. Гордієнко В.П., Малієнко А.М., Грабак Н.Х. Прогресивні системи обробітку ґрунту. — Сімферополь, 1998. — 279 с.
3. Личук Т.Є. Кіркоутворення на ґрунтах північно-західного регіону України як один з видів їх деградації: причини, попередження: Автореф. дис. на здоб. уч. ступ. канд. с.-г. наук. — Харків, 2007. — 186 с.

4. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. — М.: Агропромиздат, 1988. — 158 с.
5. Медведев В.В., Плиско И.В. Бонитировка и качественная оценка пахотных земель Украины. — Харьков: Изд-во «13 типография», 2006. — 386 с.
6. Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. — Там само, 2007. — 396 с.