

С.Ю. БУЛИГІН, В.А. ВЕЛИЧКО,
О.В. ДЕМИДЕНКО

АГРОГЕНЕЗ ЧОРНОЗЕМУ

КИЇВ • 2016

УДК 631.415:631.44:552.524

ББК 40.3

A23

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного університету біоресурсів
і природокористування України
(протокол № 1 від 26 серпня 2016 року)*

Рецензенти:

- Ю.О. Тараріко** — доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, Інститут водних проблем і меліорації НААН
- А.Д. Балаєв** — доктор сільськогосподарських наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України
- М.А. Ткаченко** — доктор сільськогосподарських наук, Національний науковий центр “Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України”

Булигін С.Ю., Величко В.А., Демиденко О.В.

A23 АГРОГЕНЕЗ ЧОРНОЗЕМУ. — К.: Аграрна наука, 2016. — 356 с.

ISBN 978-966-540-442-2

Монографія присвячена питанню відтворення природної родючості чорноземів типових в агроценозах за різних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Показано, що наростання деградаційних процесів при інтенсивному використанні чорноземів Лівобережного Лісостепу зменшує статті водного балансу: надхідні за рахунок неповного на 25–35 % поглинання зимових опадів, а витратні збільшуються за рахунок підвищення на 25–30 % фізичного випаровування, що призводить до аридизації ґрунтових умов. Систематичне виконання безполіцевого обробітку впродовж 10–35 років сприяє накопиченню продуктивної вологи за рахунок покращення гумусного стану і перетворення стійких форм карбонатів у новоутворені.

Тривале застосування безполіцевих технологій обробітку чорнозему типового зміщує його ґрунтово-екологічні особливості до більш вологих фацій.

Беззмінний поверхневий обробіток ґрунту протягом понад 30 років зумовлює вторинне окарбоначування ґрунтово-аккумулятивного горизонту чорноземів.

УДК 631.415:631.44:552.524

ББК 40.3

ISBN 978-966-540-442-2

© С.Ю. Булигін, В.А. Величко, О.В. Демиденко, 2016
© Державне видавництво “Аграрна наука” НААН, 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ПЕРЕДМОВА	9
Розділ 1	
ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ В АГРОЦЕНОЗАХ	14
Розділ 2	
ТРАНСФОРМАЦІЯ ГУМУСУ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ В ОБРОБІТКУ	27
2.1. Гумусний стан як показник спрямованості грунтоутворення та відтворення природної родючості в агроценозах	27
2.2. Уміст власне гумусових речовин і детриту за різних способів обробітку	37
2.3. Вміст колоїдних форм гумусу	44
2.4. Відтворення різноманіття чорноземів типових в агроценозах	50
2.5. Грунтоутворювальна і ґрунтозахисна роль соломи та інших післяжнивних решток у агроценозах	56
Розділ 3	
ЯКІСТЬ І ДИНАМІКА ВУГЛЕЦЮ ГУМУСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	62
3.1. Груповий та фракційний склад гумусу чорнозему за різних способів обробітку	62
3.2. Структура запасів енергії органічного вуглецю групового та фракційного складу гумусу	67
3.3. Вплив обробітку та системи удобрення на колообіг органічного вуглецю в агроценозах	73
3.4. Управління азотно-вуглецевим обігом в агроценозах	84

Розділ 4

СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СТАН

ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ В АГРОЦЕНОЗАХ

ТА ПРИРОДНОМУ УТРИМАННІ	103
4.1. Дискретність відтворення структурного стану чорноземів типових	103
4.2. Зміна структурного стану чорноземів типових в агроценозах різноротаційних сівозмін	115
4.2.1. Формування структурного стану чорнозему в 10-пільній сівозміні	115
4.2.2. Довгостроковий вплив способу обробітку на структурний стан чорнозему типового	124
4.2.3. Потенціальні можливості структуроутворення за різних способів обробітку і утримання чорноземів типових Лівобережної частини Лісостепу України	128
4.3. Відтворення водостійкої структури чорнозему типового	130
4.3.1. Формування водостійкості структури залежно від обробітку та способу утримання чорнозему	130
4.4. Формування водостійкої структури чорнозему у сівозміні	137
4.4.1. Залежність водостійкості структури від різних ґрунтових факторів	142

Розділ 5

ФІЗИЧНИЙ СТАН ЧОРНОЗЕМІВ

ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ	146
5.1. Диференційна шпаруватість і щільність будови чорнозему типового.....	146
5.2. Типізація значень диференційної шпаруватості та щільності будови у сівозміні	147
5.3. Довгостроковий вплив різних способів обробітку на розущільнення генетичних горизонтів чорноземів типових середньо- і малогумусних	156

Розділ 6

СКЛАД ҐРУНТОВОГО ПОВІТРЯ ТА СЕЗОННІ ЦИКЛИ ҐРУНТОВИХ ПРОЦЕСІВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО	164
6.1. Газово-температурний режим чорнозему за різних способів обробітку	164
6.1.1. Типізація параметрів газового режиму чорнозему	165
6.2. Сезонні цикли ґрунтових процесів	171
6.3. Агрономічно цінна структура і поживний режим чорнозему	175
6.3.1. Амонійний та нітратний азот	175
6.3.2. Рухомий фосфор і обмінний калій	177
6.4. Азотний режим чорнозему типового малогумусного залежно від способу обробітку та удобрення	180
6.5. Вміст рухомих фосфатів, обмінного калію та фізико-хімічні умови активізації їхньої рухомості та доступності	187

Розділ 7

ЕФЕКТИВНІСТЬ МІНІМАЛІЗАЦІЇ ОБРОБІТКУ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ	192
7.1. Режим зволоженості та посилення гідроморфності чорноземів типових в агроценозах різноротаційних сівозмін	193
7.1.1. Режим зволоженості в 10-пільних сівозмінах	193
7.1.2. Режим зволоження чорнозему типового малогумусного в 5-пільній зерно-просапній сівозміні	200
7.2. Коефіцієнти водоспоживання сільськогосподарських культур за різних способів обробітку чорноземів у різноротаційних сівозмінах	202
7.2.1. Водоспоживання культурами в 10-пільній зерно-просапній сівозміні	202
7.2.2. Вологоспоживання сільськогосподарськими культурами в 5-пільних зерно-просапних сівозмінах	204

7.3. Ґрунтовідновна активність сільськогосподарських культур в агроценозах сівозмін за посилених умов гідроморфності	206
7.4. Оптимізація ґрунтово- кліматичних критеріїв вологозабезпечення родючості і енергетики ґрунтоутворення в агроценозах сівозмін	216

Розділ 8

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ	228
8.1. Фізико-хімічні умови відтворення родючості чорноземів	228
8.2. Рециркуляційне відновлення фізико-хімічних властивостей чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України	235
8.3. Підсилення залишкових морфологічних ознак чорноземів типових в агроценозах	242
8.4. Вторинне окарбоначування чорноземів типових Лівобережного Лісостепу в агроценозах	251
8.4.1. Теоретичне обґрунтування вторинного окарбоначування чорноземів типових в агроценозах	256

Розділ 9

САМОРЕГУЛЯЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ВІДТВОРЕННЯМ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ В АГРОЦЕНОЗАХ	261
9.1. Саморегуляція умов відтворення родючості чорноземів типових	261
9.2. Довгостроковий вплив способу обробітку на саморегуляцію умов прояву родючості чорнозему типового малогумусного в агроценозах	264
9.3. Вплив способу обробітку на відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах	273

Розділ 10

ФАКТОР ЧАСУ І ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ

ЧОРНОЗЕМІВ В АГРОЦЕНОЗАХ

ЗА ҐРУНТОЗАХИСНОГО ОБРОБІТКУ..... 282

Розділ 11

РИЗИКИ ПРИ ПЕРЕХОДІ ДО БЕЗПОЛИЦЕВОГО

ОБРОБІТКУ ТА ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ

ЙОГО ВИКОНАННЯ НА ЧОРНОЗЕМАХ ТИПОВИХ

ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ..... 297

11.1. Рівень агрофізичної самоорганізації — критерій

для переходу до мінімального обробітку..... 297

11.2. Довгостроковий вплив способів обробітку

і удобрення на продуктивність зернових культур

у сівоzmінах 303

ВИСНОВКИ..... 315

ПІСЛЯМОВА..... 322

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА 326

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- т/га — врожайність;
- мг/на 100 г ґрунту — вміст поживних елементів;
- pH сол. — обмінна кислотність;
- pH вод. — активна кислотність;
- мм — розмір гранулометричних складових;
- см — розмір структурних окремостей та водостійких агрегатів;
- НІР_{0,5} — найменша істотна різниця;
- d — середньозважений геометричний діаметр;
- млн/г — заселеність мікроорганізмами;
- Дк — дихальний коефіцієнт;
- % — відсоток вмісту гумусу;
- КВАГ — коефіцієнт відносної акумуляції гумусу;
- КПНГ — коефіцієнт профільного накопичення гумусу;
- 0,75 (max) — максимальне типове значення;
- 0,25 (min) — мінімальне типове значення;
- 0,50 (med) — медіана.

ПЕРЕДМОВА

*Світлій пам'яті доктора
сільськогосподарських наук,
професора М.К. Шикули
присвячено*

За структурою ґрунтового покриву Лісостепова зона є однією з найскладніших і зокрема серед ґрунтів ряду автоморфного з акумулятивно-гумусовим профілем [333], формування якого відбувалося під трав'янистою рослинністю за різноманітних гідротермічних умов. Найбільші площі в Лісостепу займають чорноземи типові — 5,78 млн га (або 36,5%), з них 91,8% [529] використовують як рілля. Поширені чорноземи типові у регіонах з $ГТК_{V-IX}=0,9-1,4$ й приурочені до відносно рівних слабостічних плато (більш зволожені території), рівних міжрічкових плато та їхніх схилах (менш зволожені ділянки) та високих лесових терасах за глибокого залягання ґрунтових вод [525]. Для них притаманні найхарактерніші ознаки чорноземуутворювального процесу — нагромадження гумусу поживних речовин і відсутність перерозподілу мінеральної частини у профілі. Карбонати трапляються переважно на глибині 40–50 см, подекуди залягають на поверхні або в породі.

Залежно від параметрів коефіцієнтів відносної акумуляції гумусу КВАГ (співвідношення між умістом гумусу та фізичної глини) в 0–30 см шарі ґрунту віднесене до 10% останньої, який функціонально відображає особливості зволоження в теплий період) виділяють такі таксони чорноземів типових: добрегумусоаккумулятивні (КВАГ=0,98–1,10), які характерні для ґрунтово-екологічної підзони помірно зволоженої з $ГТК_{V-IX}=0,9-1,00$; дуже добрегумусоаккумулятивні (КВАГ=1,14–1,21), розповсюджені в підзоні підвищено зволоженої з $ГТК_{V-IX}=1,0-1,20$; і помірно високогумусоаккумулятивні (КВАГ=1,23–1,36), приурочені до підзони добре і достатньо зволоженої.

Продуктивна здатність чорноземів типових модальних зростає від добре гумусоаккумулятивного підтипу до високогумусоаккумулятивного за однакового гранулометричного складу, внаслідок поліпшення вологозабезпечення в теплий період. У свою чергу, в кожному підтипі

чорнозему типового його родючість змінюється за рахунок гранулометричного складу і зростає з його поважчанням завдяки поліпшенню водного і поживних режимів [526].

Чорноземам типовим властиве повільне зростання продуктивності за природного рівня з підвищенням зволоження в теплий період. Між його крайніми значеннями різниця становить для пшениці озимої 18–20%, ячменю ярого — 22–26, кукурудзи на зерно (25–28%) [527].

Зважаючи на значний вплив на продуктивну здатність лісостепових ґрунтів гранулометричного складу необхідно відмітити переважання серед чорноземів типових середньосуглинкових (40%), важкосуглинкових (35) і легкосуглинкових (25%) відмін. Зокрема в чорноземі типовому модальному за вмісту фізичної глини 56–60 і 21–25% параметри агропотенціалів пшениці озимої ґрунтово-екологічної провінції зволоженої в першу половину вегетаційного періоду і недостатньо зволоженої в другу половину вегетаційного періоду змінюються від $36 \pm 2 / 42 \pm 2$ ц/га до $28 \pm 2 / 37 \pm 2$ ц/га [528].

Параметри агропотенціалів основних сільськогосподарських культур у чорноземів типових за мінімального та максимального вмісту фізичної глини для кожного з 3-х підтипів мають такі характеристики: зокрема для чорнозему добрегумусоаккумулятивного модального за коливання вмісту фізичної глини від 16/20 до 61/65% показники агропотенціалів становлять для пшениці озимої від 27/39 (за природною родючістю) ц/га до 34–42 ц/га (за ефективною родючістю), ячменю ярого — від 21–31 до 29/43 ц/га; кукурудзи на зерно — від 32–44 до 36–47 ц/га; гороху — 19–29 до 22–33 ц/га, буряків цукрових — від 190–310 до 280–400 ц/га.

Ресурсний потенціал основних сільськогосподарських культур, які вирощують на чорноземах типових дуже добрегумусоаккумулятивних модальних за коливання вмісту фізичної глини від 21–25 до 51–55% зростає і варіює для: пшениці озимої — від 31–40 до 37–46 ц/га; ячменю ярого — від 23–32 до 32–40; кукурудзи на зерно — від 38–44 до 50–58; гороху — від 19–28 до 26–32; буряків цукрових — від 230–300 до 340–420 ц/га.

Найвищі показники агропотенціалів для культур, які зростають на чорноземах типових помірно високогумусоаккумулятивних модальних, зокрема при градації коливань умісту фізичної глини від 26–30 до 41–45% ресурсний потенціал культур сягає таких значень: для

пшениці озимої — від 35–38 (за природною родючістю) до 44–48 ц/га (за ефективною родючістю); ячменю ярого — 29–31 і 39–42; кукурудзи на зерно — 44–47 і 57–60; гороху — 21–24 і 28–31; буряків цукрових — 280–310 і 480–510 ц/га.

Формування чорноземів типових на схилах погіршує вологозабезпечення через втрату частини опадів із поверхневим стоком і зростання інсоляції на південних схилах, що спричиняє відповідно зменшення вмісту гумусу та потужність профілю на 8–22 і 10–25% (для слабксероморфних видів), 22–35 і 25–50 (для середньоксероморфних) і 35–50 і 50–70% (сильноксероморфних).

Отже, чорноземи типові загалом характеризуються сприятливими агрономічними властивостями, а за використанням є універсальними і придатними для більшості сільськогосподарських культур України.

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва збільшує антропогенне навантаження як на навколишнє природне середовище, так і на ґрунтовий покрив, що зумовлює інтенсивний розвиток деградаційних процесів чорнозему типового. Сучасний етап окультурювання чорнозему в агроценозах пов'язаний з систематичним застосуванням заходів щодо підвищення родючості з урахуванням його генетичних властивостей та агроекологічних вимог сільськогосподарських культур.

На сьогодні актуальним залишається розроблення ґрунтозахисних принципів, запобігання деградаційних процесів і сприяння підвищенню потенційної родючості чорнозему через відновлення і посилення дернового процесу ґрунтоутворення в агроценозах. Процес відновлення родючості чорнозему типового, механізми забезпечення рослин ґрунтовими факторами життя в умовах природно-антропогенного ґрунотворення, форми та види родючості і їх кількісна оцінка потребують додаткового вивчення, глибокої наукової дискусії й обговорення.

Особливий інтерес викликає питання наукового обґрунтування процесу трансформації деградованого чорнозему через повернення до більш ранніх стадій ґрунотворення та формування концепції відтворення потенційної родючості на основі моделювання (відновлення) природних процесів ґрунотворення (реградації) та оптимізації наросування штучної родючості до природної за довгострокового безполицевого обробітку в агроценозах.

Сучасні дослідження свідчать про те, що чорноземи типові Лісо-степу України як природно-історичні тіла, предмет людської діяльності та основний засіб сільськогосподарського виробництва в умовах агроценозу не можна розглядати окремо від географічних умов їх формування. Єдність чорнозему та середовища проявляється як функціональна залежність генезису та властивостей ґрунту від факторів ґрунтотворення. За агрофізичної деградації та дегуміфікації прагнення агротехнічними заходами створити потужний гумусовий горизонт (нарощування штучної родючості) обертається посиленням деградаційних процесів, аридизацією ґрунтових умов улітку і, як наслідок, послабленням вологозабезпечення умов формування потенційної родючості чорнозему та реалізації її через ефективну форму.

Розв'язання проблеми підвищення родючості чорноземів може бути успішним на основі нових теоретичних уявлень про родючість як процесу, що відображає характер і спрямованість колообігу речовин та потоки енергії, в основу якої покладено еколого-енергетичну концепцію оптимальної продуктивності агроценозу. Із позицій сучасних уявлень в агроґрунтознавстві, триває становлення нової теорії ґрунтової родючості, в якій детермінувальним поняттям є ґрунтова саморегуляція.

Теорія ґрунтової родючості передбачає відпрацювання принципів розв'язання проблем родючості, що концентруються у головній концепції загальної теорії ефективної родючості ґрунтів, в основі якої лежить теоретичний синтез основних понять агроґрунтознавства, землеробства та агрохімії, що встановлює внутрішні зв'язки з окремими поняттями і законами цих наук.

Важливим залишається питання формування родючості чорнозему в агроценозі, яке пов'язане з оптимізацією нарощування штучної родючості відносно природної родючості та значення відновлення природного статусу гумусового профілю чорнозему як фактора, який створює агрономічну ефективну родючість на основі формування високого рівня потенційної родючості. Це наближає оброблювані чорноземи до природного стану, коли прояв потенційної родючості з відновленим дерновим гумусо-аккумулятивним ґрунтотворенням виражатиметься всією масою ґрунтового профілю чорнозему, а сутність культурного ґрунтотворення зводиться до створення потужного, збагаченого гумусом, біологічно активного структурного генетичного горизонту чорнозему.

Необхідно науково обґрунтувати та запропонувати виробництву такі ґрунтовідновні агротехнічні заходи, які б забезпечили можливість нарощування штучної родючості за одночасного збереження та відтворення природної родючості. Застосування саме ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, які ґрунтуються на безполицевому обробітку з мульчуванням поверхні поля поживними рештками, поверхневим щорічним загортанням побічної продукції та мінеральних добрив у верхню третину гумусового горизонту сприятимуть відновленню дернового процесу ґрунтоутворення, посиленню біогенності ґрунтової товщі у річному та сезонному циклах, що забезпечуватиме умови відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах Лісостепу України.

Чорнозем типовий — результат максимального проявлення гумусоаккумулятивного типу ґрунтоутворення, це «дитя» повної любові його факторів. Він не підготовлений до такого агротехнологічного навантаження, що мало місце останні 150 років, а особливо з 50-х років ХХ ст. Це подібно тому як високоінтенсивний сорт посіяти в цілину, або тепличну рослину винести в природні умови. Всі вони не стійкі для таких умов. Серед усіх основних зональних ґрунтів чорнозем типовий найменш стійкий до сучасної агротехнологічної експлуатації. Беремо на себе відповідальність про це заявити, хоча, на наш погляд, це аксіома, яка витікає з біологічних теорій складних природних систем. У результаті, з «царя» ґрунтів за В.В. Докучаєвим, чорнозем (у нашому понятті тільки чорнозем типовий без усяких допусків може називатися таким) перетворився у «допінг залежну» вже наполовину зруйновану «істоту». Слід кардинально змінювати всі агрономічні канони землеробства на чорноземі. Автори сподіваються, що у розробку чорноземнозберігаючої системи землеробства певний внесок зробить чинна монографія.

ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ В АГРОЦЕНОЗАХ (огляд літератури, стан вивчення проблеми)

На Україні чорноземи займають 22,1 млн га або 68,9 % усієї площі орних земель. За бальною оцінкою рівень їхньої родючості оцінюється: чорноземи типові — 100 балів, звичайні — 77, південні — 55 балів. У цілому розорюваність земельного фонду України становить 58 %. Щорічні витрати ґрунту становлять близько 600 млн т, у тому числі, 20 млн т гумусу. На 1 т продукції втрачається 7 т ґрунту. Розораність ґрунтів у Лісостеповій зоні досягла 75–85 % [223–224, 305, 316–318, 356]. За нашими дослідженнями чорноземи Лівобережного Лісостепу України мають спадну динаміку вмісту загального гумусу, що пов'язано зі зростанням площ із середнім і низьким його вмістом [69].

Системне управління родючістю чорноземів типових передбачає оптимізацію комплексу режимів і властивостей, які визначають сталість продуктивності сільськогосподарських культур у часі, а системи землеробства представляють собою загальний комплекс системних організаційних заходів, які повинні розширено відтворювати родючість чорноземів і стабілізувати продуктивність агроценозів у цілому, про що зазначав ще П.А. Костичев [204–205] та сучасні дослідники [65, 456–458, 459].

Вирішення проблеми підвищення родючості чорноземів України може бути успішним тільки на основі нових теоретичних уявлень про родючість та її розширене відтворення як про процес, що відображає характер і спрямованість колообігу речовин і потоку енергії в агроценозах та агроєкосистемах, в основі якого лежить еколого-енергетична концепція оптимальної продуктивності агроценозів. Природні екосистеми, головними компонентами яких є рослини та ґрунти, функціонують як саморегуляційні системи [446], але сучасні

агроекосистеми багато у чому втратили здатність до саморегуляції внаслідок нерегулярності динаміки ґрунтових процесів орних чорноземів [53, 448–450].

Сучасне адаптивне землеробство все більше набуває ґрунтозахисного характеру, яке зменшує втрати ґрунту від ерозійних процесів на 50–90 %, сприяє накопиченню вологи і більш економній її витраті на фізичне випаровування, а безполіцевий ґрунтозахисний обробіток ґрунту з мінімалізацією за глибиною та кількістю проходів агрегату по полю є важливим напрямом удосконалення ґрунтозахисних технологій вирощування культур і високоефективним засобом захисту та відтворення чорноземів, шляхом скорочення затрат праці і матеріальних ресурсів у землеробстві України [59, 65, 255–256, 277, 293].

Велику увагу дослідженням щодо мінімалізації обробітку ґрунту та посіву культур у необроблений ґрунт приділяється у США, Канаді та розвинених країнах Європи. Дослідженнями, які проведено у США, виявлено, що при оранці пожнивні рештки становлять 1 % ґрунтового покриття; при передпосівній культивуванні — 8,4 %; дворазовому дискуванні — 12,9 %; чизелюванні — 19,0 %; полосному обробітку — 76 %. Під впливом шару мульчі на поверхні поля інтенсивність ерозійних процесів знижується у 2 рази [84, 383]. Про що свідчать сучасні дослідження [499–500, 580]. Подібні напрями досліджень реалізуються в сучасній Європейській ґрунтовій політиці [501–506].

Враховуючи світову тенденцію розробки термінології “консервуючого” обробітку, Є.І. Рябов [367–368] запропонував наступне її визначення: мінімальним слід називати обробіток, який забезпечує зменшення фізичного впливу на ґрунт і повинен бути ґрунтозахисним. До мінімального обробітку слід відносити такі види: 1) нульовий (без обробітку, прямий посів у стерню або посів у щілину); 2) полосний, який включає обробіток — посів; 3) безполіцевий — розпушування безполіцевими робочими органами. Аналогічної думки дотримувалися М.К. Шикула, Г.В. Назаренко [65, 436] та В.В. Медведєв [276], які під мінімалізацією обробітку чорноземів типових розуміють зменшення механічного впливу на ґрунт шляхом переходу на обробіток без обороту скиби, зменшення глибини обробітку, суміщення глибини обробітку і технологічних операцій, часткової або повної відмови від обробітку [221]. Довгий час уважалося, що ґрунтозахисні системи обробітку ґрунту необхідно застосовувати для попередження

вітрової та водної ерозій, а з цієї причини широкого застосування та розповсюдження в умовах Лісостепу ці технології не знаходили, але на основі Полтавського експерименту (80–90-ті роки минулого ст.) широкомасштабного впровадження ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур у виробництво було сформоване твердження про те, що систематичний обробіток без обертання скиби — базовий напрям науково-технічного прогресу у землеробстві, а систему обробітку ґрунту у сівозмінних будувати на принципах ґрунтозахисного землеробства [255, 297], що дало змогу за короткий час дійти до ряду важливих науково-виробничих висновків для умов Лісостепу України [65, 82]:

- ефективність ґрунтозахисних технологій залежить від глибини основного обробітку ґрунту: за вмісту гумусу понад 5 % найбільш ефективний систематичний мілкий безполицевий обробіток під усі культури сівозміни, а при умісті гумусу 4,5–5 % — систематичний мілкий та різноглибинний ґрунтозахисний обробіток мають однакову ефективність. За вмісту гумусу менше 4,5 % більш ефективніша різноглибинна система ґрунтозахисного обробітку чорнозему;
- коли система ґрунтозахисного обробітку ґрунту застосовується, як прийом, а плуг замінюється знаряддям безполицевого типу, а всі останні технологічні операції обробітку залишаються від класичної технології, то середня надбавка зерна становить 0,15–0,2 т/га; якщо система ґрунтозахисного обробітку застосовується в технологіях вирощування окремих культур при збалансованості системи удобрення та захисту рослин, то надбавка зерна зростає до 0,45–0,55 т/га. За умови, коли ґрунтозахисний обробіток стає базовою основою ґрунтозахисної системи землеробства, то продуктивність посівів у сівозміні зростає на 35–40 %;
- чим далі проходить час після останнього обертання скиби, тим більш високий рівень відтворення внутрішньогрунтових зв'язків і вищий рівень реалізації потенційної та прояв ефективної родючості, вищий врожай культур у сівозмінах.

У сучасних умовах земельних відносин і проведення земельної реформи, коли виробництвом почала управляти економічна доцільність, усе більше виробників сприймають ґрунтозахисні технології вирощування культур в агроценозах різноротаційних сівозмін, як базові, що забезпечують охорону чорноземів від деградації і дають

змогу мати вищу врожайність за низької собівартості вирощеної продукції, при цьому, забезпечуються умови розширеного відтворення родючості чорноземів [52–53, 193–196, 430].

Умови формування оптимального водного, повітряного, теплового, поживного режимів у ґрунті, які забезпечують максимальну продуктивність агроценозів, повинні забезпечуватись найдоцільнішими системами обробітку ґрунту, за рахунок яких можна регулювати режими трансформації енергії органічної речовини, передусім, співвідношення процесів надходження та витрати енергії органічної речовини через процес її мінералізації [462–467].

Застосування оранки, при якій гній та поживні рештки і побічна продукція загортаються у нижню частину орного шару, було введено на основі припущення про те, що відтворити гумус ґрунту можна тільки в анаеробних умовах. Було сформовано гіпотезу гуму-соутворення (за В.Р. Вільямсом [69, 70] та Л.М. Александровою [10]), за якою припускали, що гумусові кислоти (гумінові та фульвокислоти) є продуктом складного мікробіологічного синтезу в анаеробних умовах, а тому гній та інші органічні добрива, у тому числі, поживні рештки та побічну продукцію, потрібно заорювати. Проте роботи І.Б. Ревута [350–351] показали, що у межах орного шару чорноземів склад ґрунтового повітря не зазнає значних змін: кількість кисню не знижується до 18–20 %, а процес диференціації орного шару за біологічною активністю та родючістю незалежно від способу обробітку природно проявляється, але з різною швидкістю.

На протигагу науковій концепції оранки, Т.С. Мальцев [256–259, 262–263] стверджував, що чим менше разів обертається скиба при обробітку, тим швидше відновлюється ґрунтова структура, як важливий фактор ґрунтової родючості. На цій основі була сформована гіпотеза І.В. Тюріна [407] і М.М. Кононової [217], які відстоювали аеробний шлях утворення гумінових кислот. Сучасні мікробіологічні дослідження [407, 409] переконливо свідчать про те, що гіпотеза гуму-соутворення І.В. Тюріна більш об'єктивно відображає хід природних процесів трансформації рослинних решток, ніж попередня гіпотеза про анаеробне походження гумусу. [158–159, 239, 246–247, 324].

Дослідження І.С. Вострова [81] підтверджують справедливості думки про те, що аеробні процеси розкладу рослинного органічного субстрату більш доцільні для формування потенційної родючості чорноземів. У зв'язку з цим, дослідник уважав мікробіологічну

теорію обробітку ґрунту з анаеробним утворенням гумусу хибною, а системи обробітку ґрунту, які моделюють природний аеробний процес ґрунтоутворення (ґрунтозахисний поверхневий обробіток) ґрунтовідновними.

І.І. Гурєєв [110] вважав, що інтегративні властивості чорнозему (родючість і протиерозійна стійкість) забезпечуються структурними агрегатами. Структура ґрунту виступає інформаційним змістом, тезаурусом, що відрізняє систему, яка розвивається, від деградуючої системи. За структурну складову ексерії “боролися” І.Є. Овсинський [319], Т.С. Мальцев [260, 263], Е. Фолкнер [416], М.М. Тулайков [411], О.Г. Дояренко [147, 148], О.І. Бараєв [28] та інші [507–508] землероби Полтавщини у роки проведення широкомасштабного експерименту по впровадженню ґрунтозахисних технологій у виробництво [220, 432, 439].

Концепція сучасного землеробства значно розширює та поглиблює поняття родючості ґрунту. На початку 20-го століття В.І. Вернадський [60–62] зазначав: “... *вопрос о плодородии ставился с узко человеческой точки зрения: о получении продуктов, необходимых человеку. Эта задача частная. Она может быть правильно поставлена и решена только тогда, когда выяснится вопрос есть ли предел количеству вещества, которое может быть захвачено материей и введено ею в состав составляющих ее организмов на определенной площади земли.*”

За визначенням О.М. Каштанова, О.М. Ликова, І.С. Каурічева [182] та інших [523–524] під родючістю в інтенсивному землеробстві слід розуміти здатність ґрунту на основі його фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей бути сільськогосподарським культурам середовищем існування, джерелом і посередником у забезпеченні факторами життя, а також створювати умови для інтенсивного ведення сільського господарства.

За визначенням Б.Г. Розанова [359–360] родючість — це здатність щорічно (циклічно) забезпечувати врожай (річну продукцію) сільськогосподарських культур, що зумовлюються специфічним комплексом властивостей ґрунту, як природного тіла, особливостями річних (сезонних) режимів і циклів. Відтворюючи родючість, ми підтримуємо потенційну родючість на певному рівні, а розширено відтворюючи родючість — підвищуємо потенційну родючість, що не завжди спричинює ріст ефективної родючості, а це значить, що підвищення, прогресивне підвищення, розширене відтворення потен-

ційної родючості є необхідною, але не достатньою умовою зростання ефективної родючості.

Суть ґрунтоутворення така, що у геологічному циклі постійно накопичується потенційна родючість — відбувається розширене відтворення родючості у рамках прогресивної еволюції ґрунту [175–176, 358–360]. З позицій А.П. Щербакова і Є.Є. Кислих [462–468] у другій половині 20-го століття у ґрунтознавстві, агрохімії, землеробстві та рослинництві відбулося становлення нової узагальнюючої теорії ґрунтової родючості, в якій у якості основного поняття розглядалася саморегуляція, як загальноґрунтове поняття. Природна родючість при цьому розглядається як одна з функцій саморегуляції ґрунту, а ефективна родючість — як прояв саморегуляції, але в умовах постійного впливу людини. У зв'язку з зазначеним вище А.П. Щербаков і Є.Є. Кислих [468] звернулися до такого поняття як “парадигма”, під яким розуміється сукупність ідей, методів і зразків вирішення проблем, які приймаються науковим світом у певний конкретно-історичний період розвитку науки.

Оцінка потенціалу та ступеня прояву родючості можлива тільки за умови аналізу системи ґрунт — рослина — навколишнє середовище: *“... под плодородием почвы мы предлагаем понимать её способность в конкретных условиях обеспечивать оптимальный режим связывания солнечной (световой) энергии...”* [75, с. 25–28], але це визначення на думку А.П. Щербакова та Є.Є. Кислих [463, 468], відноситься до поняття продуктивності: *“Продуктивность в нашем представлении близка к определению реального плодородия по В.М. Володину [75]”,* яке виражається *“... оценкой интенсивности связывания энергии в системе почва — растение в определенных условиях окружающей среды.”*

За висновками І.І. Свентицького [386–388] послідовний аналіз системи ґрунт — рослина — погодно-кліматичні умови на основі положень теорії потенційної ефективності складних систем і врахування важливої властивості саморегуляції цієї системи — біоенергетичної цілеспрямованості — дає можливість здійснити кількісне взаємопогоджене визначення агробіокліматичного, меліоративного потенціалу та родючості ґрунтів у цілому.

З початком використання ґрунтів у сільському господарстві, ґрунти набувають, поряд з природною родючістю, нового виду родючості — штучної, які разом формують потенційну родючість, яку можна підвищувати через відтворення природної та нарощування штучної



Рис. 1.1. Взаємозв'язок між родючістю ґрунту, її видами, формами та продуктивністю агроценозу при застосуванні ґрунтозахисної системи землеробства

родючості за допомогою системи землеробства. Процес розширеного відтворення родючості ґрунтів здійснюється в системі ґрунтозахисного адаптивного землеробства, а відтворювальна функція підсистем системи землеробства повинна бути рівнозначною і полягає в цілеспрямованому впливі на всі чинники родючості одночасно, створюючи високу та стабільну в часі продуктивність агроценозу. Модель відтворення родючості за ґрунтозахисного землеробства в нашому розумінні подано на рис. 1.1.

Вважається [469], що найдоцільнішим є одночасно впливати і змінювати рівень потенційної та штучної родючості. Процес, коли кожен наступний цикл малого біологічного кругообігу (МБК) супроводжується накопиченням у ґрунті певної кількості енергії, органічної

речовини, біомаси і біофільних елементів порівняно з попереднім циклом і є суттю розширеного відтворення родючості, а чим вищий рівень реалізації потенційної родючості, тим вірогідніший процес розширеного її відтворення. Б.Ф. Апарін [22], розглядаючи процес еволюції ґрунтів і проблеми управління їх родючістю, приходить до висновку, що родючість є інтегруючим системним показником ґрунтових процесів і властивостей, а однією з базисних сторін розробки теорії управління родючістю є вивчення зміни ґрунтів у часі, спрямованості ґрунтоутворення.

А.П. Щербаков і В.К. Володін [469] визначають поняття системи землеробства з позицій науки про агро- та екосистеми, в яких процес енерго- і масообміну та прийоми його спрямованого екологічно безпечного регулювання здійснюється з метою отримання певної кількості енергії органічної речовини у вигляді необхідної продукції вищих рослин, і повинно відбуватися за об'єктивними законами природи.

Самоорганізація агроекосистем прямо пов'язана з організацією й еволюцією ґрунтової родючості, як способом прояву саморегуляції чорнозему [78, 468], а тому система обробітку ґрунту, як складова системи землеробства і як фактор впливу на потенційну та реальну родючість, за умов оптимального енергетичного забезпечення культурного ґрунтоутворювального процесу, повинна стимулювати багатопараметричну саморегуляцію потенційної родючості, тобто система обробітку ґрунту повинна моделювати та відтворювати природні процеси ґрунтоутворення в агроценозах.

Ґрунтозахисні технології вирощування культур, які базуються на безполіцевому обробітку, і які, за достатнього внесення органічних (гній або побічна продукція) і мінеральних добрив, здатні відтворювати природний ґрунтоутворювальний процес за рахунок поверхневого загортання гною, пожнивних і кореневих решток в агроценозах різноротаційних сівозмін [65, 436, 438, 522]. Застосування ґрунтозахисних систем обробітку ґрунту дасть змогу оптимізувати продуктивність агроценозу, суть якого, за визначенням Г.Д. Булаткіна [48], зводиться до максимального накопичення сонячної енергії у біомасі культурних рослин з мінімально необхідними сукупними затратами антропогенної енергії на одиницю продукції та функціонуванням агроландшафту у межах екологічно допустимих техногенних навантажень, які обмежуються гомеостатичними можливостями самого агроландшафту.

Світову тенденцію до мінімалізації обробітку [65, 383, 520, 521] чорноземів слід пов'язувати не тільки зі зменшенням затрат засобів і праці на обробіток, але і з реалізацією можливості впливати на ґрунтоутворення в агроценозах із виходом на розширене відтворення родючості чорноземів. Складність усієї проблеми і шляху її реалізації криється у тому, що необхідно від понять мінімалізації обробітку ґрунту у системі основного, передпосівного та післяпосівного обробітку ґрунту, прийти до ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, в основі яких лежить безполицевий обробіток під окремі культури, а потім до систематичного мінімального безполицевого обробітку у агроценозах сівозмін у систематичному виконанні.

Чорноземи, як природно-історичні тіла і предмет людської діяльності, основний засіб сільськогосподарського виробництва, не можуть бути відірваними від географічних умов формування. Проявляється єдність чорноземів і середовища, як функціональної залежності генезису та властивостей від факторів ґрунтоутворення в агроценозах. Глибокопрофільні дослідження показують, що будова і спрямованість ґрунтоутворення чорноземів в агроценозах набагато складніша і визначається складним комплексом елементарних ґрунтових процесів, які підпорядковуються, головним чином, гідротермічному режиму, який змінюється під впливом системи землеробства, як у бік ксероморфізації, так і у напрямку посилення гідроморфності чорноземів, як автоморфних систем [330–333].

Питанню колообігу органічного вуглецю, як основи відтворення родючості, присвячена значна кількість наукових досліджень [4, 223, 229], у тому числі, фундаментальних [405, 484]. Вивчення проблеми формування запасів органічного вуглецю та зміни його якісного й енергетичного станів в агроценозах, особливо при застосуванні різних способів обробітку, є недостатнім і потребує додаткового вивчення як з агроекологічного, так і з агрономічного поглядів у плані визначення шляхів підвищення потенційної родючості чорноземів типових. Інтенсивний обробіток призводить до зменшення запасів фракцій органічного вуглецю на великих площах, впливаючи на його потік та колообіг у надземному циклі, що супроводжується зменшенням ґрунтових органічних сполук [428] і складових групового і фракційного станів гумусу чорноземів типових в агроценозах Лісостепу України.

Визначальним чинником істотного порушення балансу депонованого у ґрунті та атмосфері вуглецю є сільськогосподарське виробництво, для якого характерна надмірна розораність площ з чорноземами, незбалансоване застосування мінеральних добрив, порушення структури сівозміни тощо, що знизило стабільність агроценозів і родючість чорноземів України. Органічні добрива відіграють особливе значення для відтворення родючості чорноземів у зв'язку з тим, що вони є необхідним компонентом відтворення гумусного стану та регулятором мікробіологічних процесів, а використання їх різних видів змінюють емісію CO_2 до атмосфери за рахунок різної інтенсивності мінералізацій цих процесів. Вважають, що причиною глобальних змін клімату у бік потепління є антропогенне підсилення парникового ефекту. Визначено комплекс ризиків від його посилення, один з яких — це можливе падіння рівня родючості ґрунтів при зростанні продуктивності сільськогосподарських культур коли процес поглинання CO_2 не компенсується надходженням CO_2 від мінералізації гумусу, гною та побічної продукції при внесенні мінеральних добрив в агроценозах сівозмін.

При цьому CO_2 -фактор (за Lundegardh H. *Der Kreislauf der Kohlen-saureversorgung in der Natur.* — Jena, 1924. 327 S.), визначений, як різниця між компенсацією CO_2 у посівах і вільній атмосфері, набуває стійкого від'ємного значення, що слід сприймати як лімітування вуглецевого живлення в агроценозах сівозмін. В Україні існує великий резерв щодо підвищення утилізації CO_2 за рахунок використання високих технологій інтенсифікації ланок землеробства шляхом досягнення виваженості між гуміфікацією (утворенням гумусу) та мінералізацією органічної речовини, під впливом якої вуглець гумусу та побічної продукції у вигляді CO_2 повертається до атмосфери. Визнаною є думка про доцільність процесу гуміфікації органічного вуглецю та перетворення його у стабільні сполуки, але недостатньо вивченим є питання значення темпів мінералізації для оптимізації вуглецевого балансу в агроценозах для стабілізації їхньої продуктивності. Дослідження змін продукування діоксиду вуглецю за умови тривалого антропогенного впливу та інтенсивність виділення CO_2 залежно від способів використання чорноземів типових Лісостепу України становить неабиякий практичний інтерес. Діоксид вуглецю атмосфери приблизно на 80–90 % має ґрунтове походження, а серед потоків CO_2 , що надходять до атмосфери, емісія з поверхні ґрунтів є

однією із найпотужніших. Порушення ґрунтового дихання призводить до зміни умісту CO_2 у приземних шарах атмосфери.

Колообіг азоту та вуглецю — є основними біогеохімічними циклами, які відбуваються у наземних еко- й агроєкосистемах [495, 496]. Дослідження останніх років засвідчують, що, з одного боку, загальноприйнятим є включення вуглецевого циклу екосистеми до кліматичних моделей, як інтегральної характеристики вуглецевого циклу — концентрації CO_2 в атмосфері. З другого, дефіцит мінеральних форм ґрунтового азоту негативно впливає на розвиток рослинних організмів, як у природних ценозах, так і в агроценозах, упливаючи на депонування вуглецю атмосфери, що посилює наслідки глобальних змін клімату [497–498]. Виключення азотного циклу з розгляду наслідків змін клімату призводить до недостатньої оцінки відгуку екосистем та агроєкосистем, де мінеральні форми ґрунтового азоту є лімітуючим фактором для розвитку наземної рослинності, як у природних ценозах [487, 489, 493–494], так і в агроценозах [491].

Виявлено істотний вплив колообігу азоту на обернений зв'язок між зміною кліматичних характеристик і циклом вуглецю: чим сильніший зв'язок продуктивності природних ценозів і агроценозів від кількості засвоєного азоту у ґрунті, тим швидше поглинаються викиди CO_2 наземними рослинними угрупованнями [15], а тому комплексна кількісна оцінка взаємозв'язку вуглецевого й азотного циклів суттєво впливає на процес збільшення або зменшення вуглецевого бюджету наземних еко- і агроєкосистем [490]. Взаємодія між азотним і вуглецевим циклами виявляє істотний вплив на зміну умісту азоту та вуглецю у рослинності, шарі детриту та органічній речовині ґрунту, а інтенсивність і взаємозумовленість азотного і вуглецевого циклів лежить в основі природного ґрунтоутворення в агроценозах при застосуванні ґрунтовідновних адаптивних систем ведення землеробства [492].

Потепління клімату, як правило, веде до зменшення депонування CO_2 в еко- й агроєкосистемах [485], що пов'язано з зростанням інтенсивності, як продуктивного, так і деструктивного процесу: зростає швидкість розкладу органічної речовини у ґрунті, посилюється ґрунтове дихання, що призводить до посилення чутливості продуктивності різних угруповань рослин до вологості ґрунту і температури повітря. При надмірному прояві зазначених процесів інтенсивність ґрунтового дихання починає перевищувати швидкість акумуляції CO_2

атмосфери рослинами, а еко- й агроєкосистеми перетворюються на джерела викидів вуглекислоти та закису азоту до атмосфери.

Врахування азотного циклу пов'язане зі зростанням умісту наземного вуглецю за підвищення температури повітря, що зумовлено зростанням умісту CO_2 у атмосфері та викликане посиленням мінералізаційних процесів у ґрунті, наслідком яких є накопичення доступного мінерального азоту у ґрунті, який стимулює продуктивність еко- й агроєкосистем і посилює продуктивність фотосинтезу [483, 486, 492]. За достатнього рівня зазначених процесів потреба у атмосферному вуглеці рослинними угрупованнями починає перевищувати емісію ґрунтового вуглецю, а наземні еко- й агроєкосистеми перетворюються на системи-накопичувачі органічної речовини атмосфери, тобто взаємозв'язок вуглець-клімат стає обернено-кореляційною моделлю [490], що послаблює негативні прояви парникового ефекту при кліматичних змінах Лісостепу України.

Система землеробства, яка включає сівозміни, удобрення та обробіток, комплексно впливає на баланс органічного вуглецю в агроценозах Лівобережного Лісостепу України. У зв'язку з такою обставиною довгострокові зміни в практичній діяльності сільськогосподарського виробництва призводять до зміни запасів органічного вуглецю у віковому вимірі, особливо при заміні гною на побічну продукцію в якості органічних добрив і застосуванні різних способів обробітку ґрунту у сівозмінах різного типу [420–430].

Органічні добрива є головним компонентом відтворення потенційної родючості чорноземів, а за рахунок впливу на мікробіологічний пул збільшують активність колообігу органічного вуглецю, що має позитивне значення, але при цьому значно збільшуються емісійні витрати органічного вуглецю, що є небажаним явищем [229, 324, 455, 487].

Загострення основних протиріч у сільському господарстві змушує людину свідомо переходити до ґрунтозахисних систем землеробства для реалізації основної ідеї, яка полягає у тому, щоб відношення до землі відповідало її суті як природного утворення, яке розвивається за своїми внутрішніми законами, а сама система землеробства повинна стимулювати процес відтворення рівня самоорганізації ґрунту та агроценозу, а тому сприйняття ґрунту, як самостійного природного утворення, повинно ввійти у практику сучасного адаптивного землеробства в якості основного базового поняття [48].

Грунтозахисний безполицевий обробіток чорноземів типових із мульчуванням ґрунту рослинними рештками та використанням, поряд з гноєм, у якості органічних добрив побічної продукції урожаю, виконується згідно до природних законів: відновлюються та посилюються природні процеси ґрунтоутворення в агроценозах Лісостепової зони України [65, 435, 436]. Чорноземи, які інтенсивно розорюються, втрачають управляючу функцію в системі біосферних процесів, а високі врожаї забезпечуються шляхом переходу чорноземів в агроценозах у режим “допінгового стану”, при якому прискорено витрачається “недоторканий запас” самоорганізації та природної родючості. Грунтозахисна система землеробства повинна моделювати і наближено відтворювати природний механізм функціонування біогеоценозів, який склався у процесі еволюції. Створюючи бездефіцитний, певною мірою, самовідновний, замкнутий, а тому стійкий, колообіг потоку речовини, енергії та інформації, можна буде жити на “відсотки” з колообігу, не витрачаючи, а розширено відтворюючи ґрунтову родючість чорноземів [65].

Глобальні проблеми охорони ґрунтів чорноземного типу [278, 476] свідчать про те, що під загрозою знаходиться існування основної геологічної сили — живої речовини в ґрунті, а тому ґрунтозахисна система обробітку чорноземів є ефективним інструментом регулювання, активізації та управління живою речовиною в агроценозі, що прямо пов’язано з процесом розширеного відтворення родючості та посиленням ґрунтоутворення чорноземів у агроценозах.

Людина почала добре усвідомлювати те, що необхідно переглянути історичні умови доцільності систематичної оранки, яка відіграла у процесі розвитку суспільства видатну роль, допомагаючи залучити до використання великі площі цілинних земель. У сучасних умовах глибока оранка переходить у свою протилежність, підсилюючи процеси всіх видів ґрунтової деградації в агроценозах і набуває не наукових, антибіосферних якостей.

ТРАНСФОРМАЦІЯ ГУМУСУ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ, ЩО ПЕРЕБУВАЮТЬ В ОБРОБІТКУ

2.1. Гумусний стан як показник спрямованості ґрунтоутворення та відтворення природної родючості в агроценозах

Між вмістом загального гумусу та родючістю чорноземів типових існує тісний зв'язок [131, 222, 248, 250, 310–315, 318, 425–426], але в сучасних умовах необхідно знати основні механізми та закономірності, які забезпечують отримання максимальних і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур [426, 442, 443, 473]. Вважається, що оптимальним є такий вміст загального гумусу, коли забезпечується стійке отримання високого врожаю, а головним критерієм є визначення нижньої межі його вмісту, за яким нестача у ґрунті органічної речовини гальмує формування високих урожаїв. При визначенні верхньої межі необхідно керуватися чисто економічними критеріями [149, 473].

На думку дослідників [248, 270], якщо чорноземи мають високий рівень агрофізичних властивостей, то можна вважати, що вміст загального гумусу досягає свого оптимуму. Значення органічної речовини як джерела азоту для рослин при визначенні оптимального вмісту гумусу обов'язково повинен враховуватися [248]. За В.П. Яковченко [473] оптимальний вміст гумусу в ґрунті буде тоді, коли азотне живлення рослин на рівні з агрофізичними властивостями не буде лімітувати продуктивність культур у сівозмінах. Для чорноземів типових України, за узагальненнями багатьох авторів, оптимальний вміст гумусу становить — 4,0–6,5 % [315, 426, 427, 473].

Аналізуючи пошаровий вміст і запаси загального гумусу в гумусовому горизонті чорнозему не виявлено чіткої закономірності, яка могла б дати змогу зробити конкретний висновок про його накопичення або руйнування за період ротації культур у сівозміні. Розрахо-

вані типові інтервальні значення зміни вмісту та запасів загального гумусу в 0–30 см шарі чорнозему при виконанні оранки і безполицевого обробітку на 5–12 см за сівозміну (табл. 2.1) показали, що за оранки у шарі ґрунту 0–10 см інтервальна зміна вмісту гумусу становила — 0,09 %, а з глибиною (шар 20–30 см) вона розширювалася до 0,35 %. За безполицевого обробітку на 5–12 см закономірність мала зворотній характер: у 0–10 см шарі ґрунту вміст гумусу змінювався на 0,30 %, а у шарі ґрунту 20–30 см — на 0,18 % за сівозміну. Достовірно вищим уміст загального гумусу по максимальному типовому значенню в шарі ґрунту 0–10 см був при безполицевому обробітку, а у шарі ґрунту 20–30 см, навпаки, — при оранці. Розрахунки середнього значення вмісту загального гумусу підтвердили виявлену закономірність — достовірно вищим вміст гумусу виявився за безполицевого обробітку в шарі ґрунту 0–10 см (+0,17 %), а середній уміст гумусу в шарі ґрунту 0–20 см і 20–30 см можна вважати однаковим незалежно від системи обробітку чорнозему типового. У верхній частині гумусового горизонту (0–20 см) проявляється стійка тенденція до підвищення вмісту гумусу за безполицевого обробітку, а у нижній його частині (20–30 см) за систематичної оранки.

Розрахунок коефіцієнта асиметрії дає підставу стверджувати, що за безполицевого обробітку в шарі ґрунту 0–20 см проявляється ліва асиметрія, тобто значення середнього та медіани тяжіють до максимального типового вмісту гумусу, що свідчить про тенденцію до його накопичення. У шарі ґрунту 20–30 см явище зворотнє — проявляється права асиметрія. За оранки процеси накопичення гумусу більш виражені у нижній частині гумусового горизонту. Розрахунок запасів загального гумусу показав, що в шарі ґрунту 0–30 см середні запаси гумусу за сівозміну були практично однаковими незалежно від системи обробітку чорнозему.

У шарі ґрунту 0–20 см за оранки гумусу було менше на 6 т/га, проте у шарі ґрунту 0–30 см запаси гумусу були у межах достовірних значень (198–206 т/га), що можна вважати однаковим запасом як при оранці, так і при безполицевому обробітку на 5–12 см. Оцінка інтервальних значень запасів загального гумусу свідчить про те, що в умовах систематичного безполицевого обробітку мінімальні типові запаси гумусу в гумусовому горизонті (окремо у шарах ґрунту 0–20 і 0–30 см) переважали запаси при оранці на 6,0 і 11,0 т/га відповідно, а максимальні запаси гумусу були вищими на 11,0 та 8,0 т/га, відповідно

Таблиця 2.1. Вплив різних способів обробітку на типізовані значення вмісту (%) та запаси (т/га) загального гумусу за 1989–1992 рр. при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ гною

Потужність шару ґрунту, см	Вміст, % та запаси гумусу, т/га*				Коефіцієнт асиметрії
	min. φ (0,25)	max. φ (0,75)	med φ (0,50)	±S*t	
Оранка на 22–32 см					
0–10	$\frac{5,52}{58,0}$	$\frac{5,61}{67,0}$	$\frac{5,56}{65,0}$	$\frac{0,03}{2,5}$	$\frac{-0,11}{-0,13}$
10–20	$\frac{5,54}{62,0}$	$\frac{5,77}{70,0}$	$\frac{5,54}{64,0}$	$\frac{0,06}{2,1}$	$\frac{+0,74}{+0,33}$
20–30	$\frac{5,51}{64,0}$	$\frac{5,86}{74,0}$	$\frac{5,89}{69,0}$	$\frac{0,10}{2,2}$	$\frac{+0,59}{+0,33}$
0–20	$\frac{5,53}{120}$	$\frac{5,69}{137}$	$\frac{5,64}{129}$	$\frac{0,08}{5,0}$	$\frac{+0,49}{+0,10}$
0–30	$\frac{5,52}{184}$	$\frac{5,76}{211}$	$\frac{5,71}{198}$	$\frac{0,075}{6,0}$	$\frac{+0,59}{+0,41}$
0–40	$\frac{5,49}{246}$	$\frac{5,65}{280}$	$\frac{5,56}{263}$	$\frac{0,05}{6,5}$	—
Безполицевий обробіток на 5–12 см					
0–10	$\frac{5,63}{61,0}$	$\frac{5,93}{76,0}$	$\frac{5,73}{67,0}$	$\frac{0,085}{2,5}$	$\frac{-0,33}{0,75}$
10–20	$\frac{5,49}{65,0}$	$\frac{5,65}{69,0}$	$\frac{5,52}{68,0}$	$\frac{0,06}{2,7}$	$\frac{-0,63}{+0,77}$
20–30	$\frac{5,52}{69,0}$	$\frac{5,71}{71,0}$	$\frac{5,64}{71,0}$	$\frac{0,06}{2,1}$	$\frac{+0,11}{+0,33}$
0–20	$\frac{5,56}{126}$	$\frac{5,79}{145}$	$\frac{5,72}{135}$	$\frac{0,11}{4,0}$	$\frac{-0,48}{-0,44}$
0–30	$\frac{5,45}{195}$	$\frac{5,80}{216}$	$\frac{5,65}{206}$	$\frac{0,09}{6,0}$	$\frac{-0,20}{-0,23}$
0–40	$\frac{5,54}{255}$	$\frac{5,81}{284}$	$\frac{5,69}{270}$	$\frac{0,055}{6,4}$	—

* Чисельник — вміст, %; знаменник — запаси, т/га.

Коефіцієнт асиметрії свідчить про те, що при безполицевому обробітку проявляється стійка тенденція до накопичення загально-го гумусу в шарі ґрунту 0–20 см, а за класифікацією Л.А. Гришиної та Д.С. Орлова [105], незалежно від способу обробітку чорнозему типового — є середньогумусним.

Таким чином, при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т гною на 1 га сівозміни, незалежно від системи обробітку, відбуваються процеси стабілізації вмісту гумусу в гумусовому горизонті чорнозему. За оранки накопичення гумусу відбувається у нижній частині (20–30 см), а за безполицевого обробітку у верхній частині (0–20 см) гумусового горизонту. За безполицевого обробітку накопичення гумусу відбувається більш інтенсивно.

Дослідження [65, 171, 220] показали, що на чорноземах спостерігається загальна закономірність у спрямованості сезонних змін умісту гумусу. Від весни до середини літа зниження та підвищення до осені—зими і відтворення до весни (рис. 2.1). Сезонні відмінності були достовірними за всі роки досліджень. Амплітуда сезонних коливань умісту гумусу у верхній частині гумусового горизонту (0–20 см) при безполицевому обробітку була вищою, ніж за систематичної оранки.

Найбільші сезонні коливання спостерігаються у шарі ґрунту 0–10 см (0,31–0,37 %) за безполицевого обробітку, а за оранки вони були максимальними у шарі ґрунту 20–30 см (0,24–0,25 %). Систематичне застосування безполицевого обробітку спрямовує сезонну зміну вмісту гумусу в напрямку сезонної зміни при утриманні перелогу, тобто відбувається моделювання природного процесу утворення гумусу в агроценозі.

На основі власних і спільних досліджень [172, 384, 385] сформовано критерій припинення дегуміфікації чорноземів, суть якого полягає в тому, що безполицевою системою обробітку ґрунту з достатнім унесенням гною і мінеральних добрив, слід стимулювати відтворення сезонної та річної пульсації гумусу в напрямку перелогу.

На чорноземах типових середньогумусних найсуттєвішим у цьому плані є безполицевий обробіток, коли пожнивні кореневі рештки та гній загортаються у верхню третину гумусного горизонту. Достатньою дозою гною та мінеральних добрив у сівозміні є: 15 т/га + $N_{85}P_{75}K_{65}$. На рис. 2.2 показано баланс органічної речовини у перерахунку на гумус, який розраховано за виносом азоту [86, 157, 287].

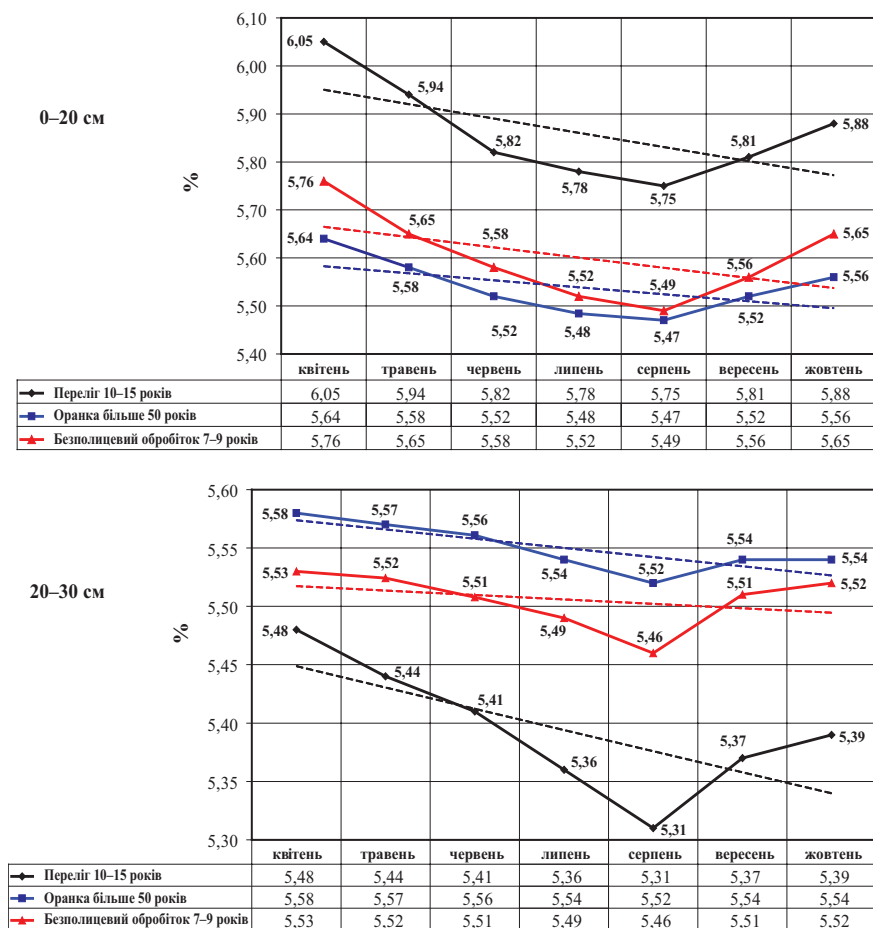


Рис. 2.1. Вплив різних способів обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на сезонну динаміку гумусу при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т/га гною в ланцюгу зерно-просапної сівозміни для південного Лівобережного Лісостепу України

Розраховано баланс органічної речовини у перерахунку на гумус за ротацію культур у сівозміні при систематичному виконанні оранки та безполицевого обробітку на 22–32 і 10–12 см при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65}$ на фоні 15 т/га гною на 1 га сівозміни.

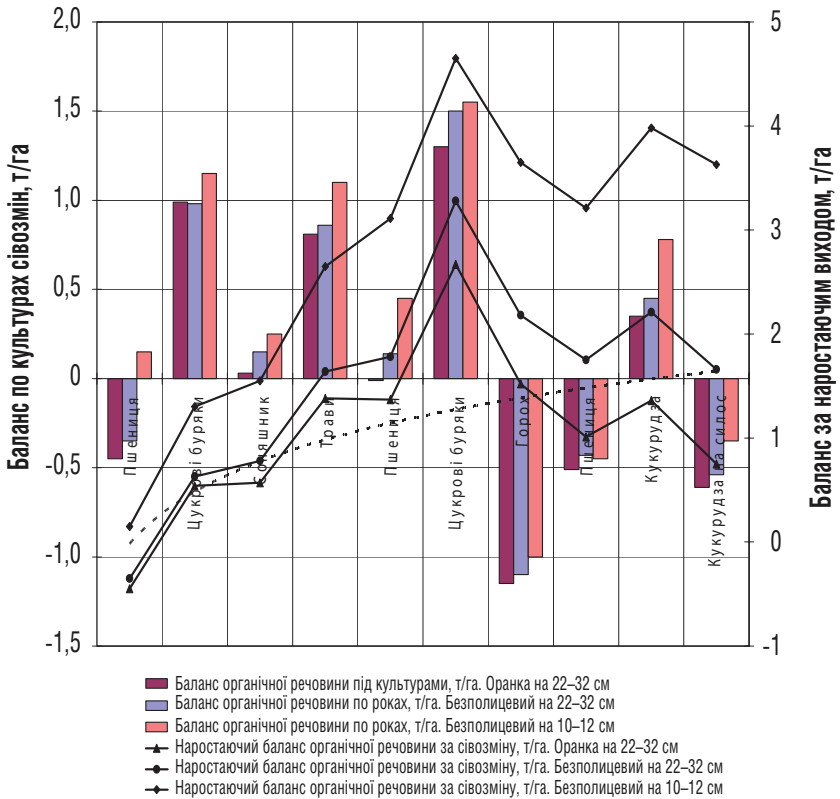


Рис. 2.2. Вплив різних способів обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на баланс органічної речовини гумусу в 10-пільній зерно-просапній сівозміні при внесенні 15 т/га гною + $N_{85}P_{75}K_{65}$

Виявилося, що за 10 років у гумусовому горизонті (шар 0–40 см) при безполіцевому обробіткуросло коріння і накопичилось пожнивних решток на 10–15 % більше, ніж при оранці. З них утворилося більше на 10–15 % гумусу, ніж при оранці за рахунок підвищення коефіцієнтів гуміфікації на третину [65]. Загальний вихід органічної речовини у перерахунку на гумус із рослинних решток і гною за оранки був на 18–20 % меншим, ніж за безполіцевого обробітку, а баланс органічної речовини на кінець ротації культур у сівозміні за оранки

становив: +0,79 т/га; за безполицевого обробітку: +3,60 т/га, що у 5 разів ефективніше. У першому випадку досягається рівень простого відтворення родючості, а у другому — розширеного. Різноглибинний безполицевий обробіток зайняв проміжний стан між оранкою і безполицевим обробітком на 5—12 см. Оцінити родючість ґрунту можна методом гумусового балансу [431], що було підтверджено власними дослідженнями.

Ознакою розширеного відтворення родючості чорнозему типового у сівозміні при оптимальних запасах гумусу (4—5,6 %) є відтворення максимальної амплітуди сезонних і річних циклів умісту гумусу та бездефіцитність балансу органічної речовини у перерахунку на гумус. При систематичному виконанні безполицевого обробітку на 5—12 см у сівозміні, при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65}$ на фоні 15 т/га гною на 1 га сівозмінної площі, вихід на рівень розширеного відтворення відбувається на 4—5 рік з більш високими кількісними показниками, ніж за систематичної оранки.

Було проведено оцінку балансу органічної речовини в 5-пільних зерно-просапних сівозмінах за період 2001—2010 рр., коли вносилося 7 т/га побічної продукції на фоні $N_{45}P_{55}K_{45}$ д.р. на 1 га та на контролі без добрив (див. рис. 2.3 і 2.4). Аналогічний порівняльний аналіз проведено на варіанті без унесення мінеральних добрив із вилученням побічної продукції, у першому випадку, та залишенням її у кількості 5 т/га на місці вирощування, у другому.

Було встановлено, що баланс органічної речовини в зерно-просапній сівозміні без унесення мінеральних добрив з вилученням побічної продукції (1964—1973 рр.) був більш дефіцитним (на -2,93 т/га) або в 1,51 порівняно з утриманням сівозміни в період, коли залишалася побічна продукція (2001—2010 рр.). Інтенсивність балансу органічної речовини при вилученні побічної продукції становила 25 %, а з залишенням на місці її вирощування — 77 %, що свідчить про достатньо високу ефективність використання нетоварної частки врожаю у якості органічних добрив.

Унесення гною на фоні мінеральних добрив (6 т/га + $N_{45}P_{36}K_{40}$) знижувало дефіцитність балансу органічної речовини до значень: -5,6 т/га, що менш дефіцитніше, ніж на контролі без добрив на 20 %, а при заміні гною на побічну продукцію (7 т/га + $N_{45}P_{55}K_{45}$) навпаки, відбувається зростання дефіцитності балансу органічної речовини за сівозміну на 37 % (-2,1 т/га).

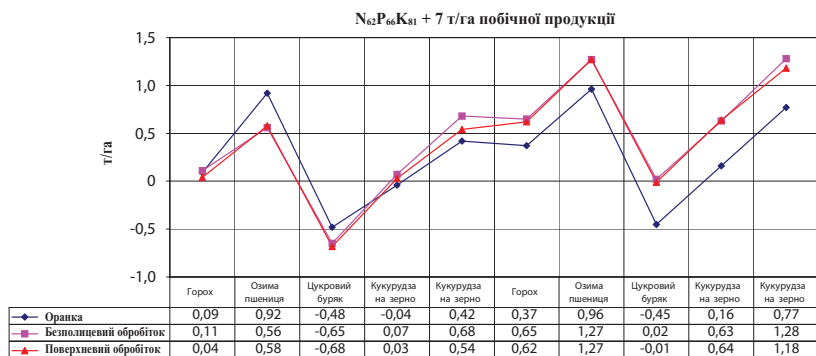
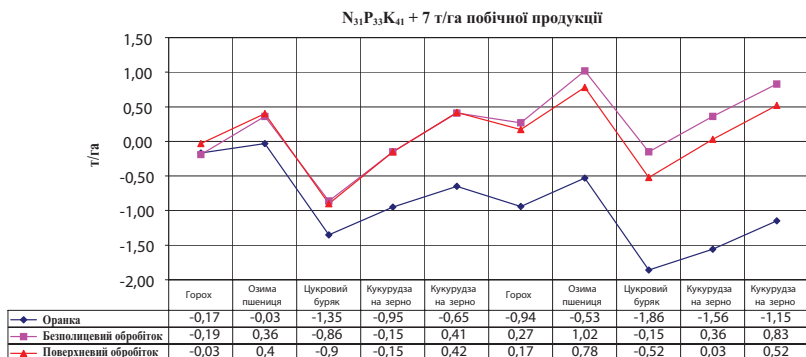
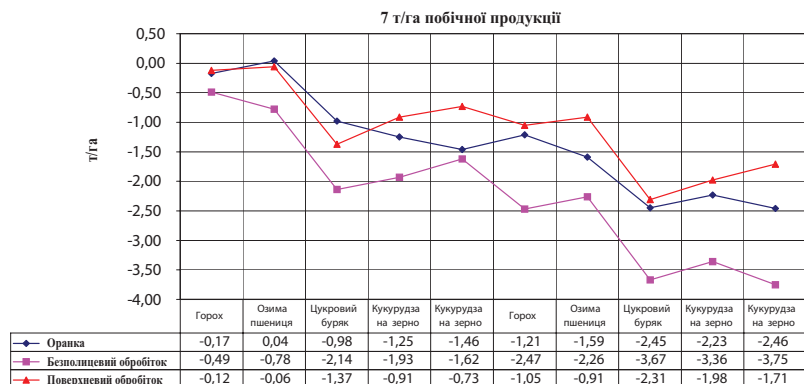


Рис. 2.3. Баланс органічної речовини в 5-пільній зерно-просапній сівозміні при різних способах обробітку ґрунту та удобрення за дві ротації (2001–2010 рр.)

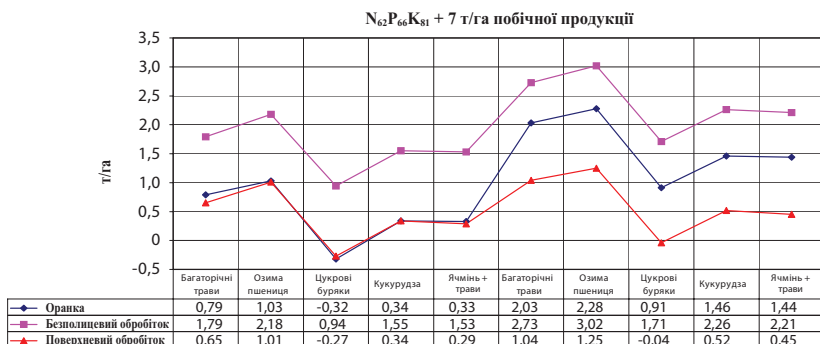
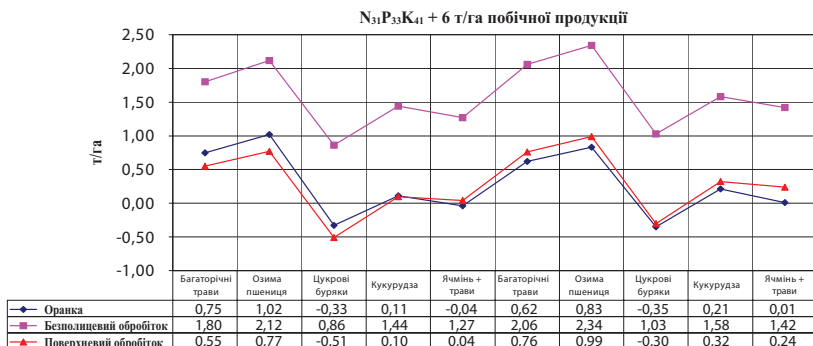
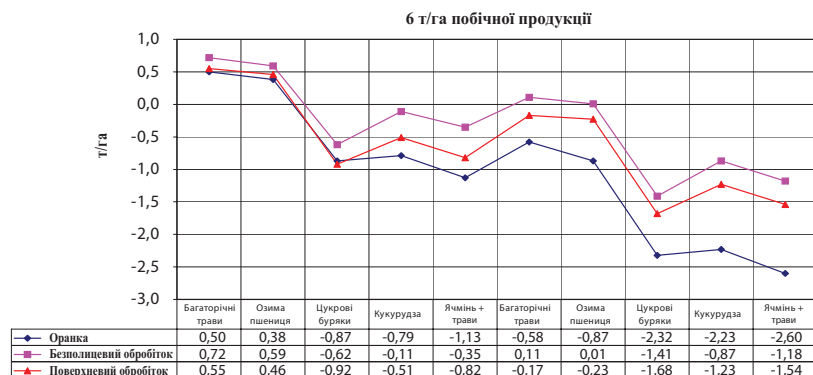


Рис. 2.4. Баланс органічної речовини в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з багаторічними травами при різних способах обробітку ґрунту та удобрення за дві rotaції (2001–2010 рр.)

У 5-пільній сівозміні з насиченням зерновими культурами до 60 %, горохом — до 20 %, кукурудзою — до 40 % при залишенні на місці вирощування побічної продукції найбільш дефіцитним баланс органічної речовини був за глибокого безполицевого обробітку, а найменш дефіцитним у 1,44–2,20 рази за поверхневого обробітку, як після першої, так і другої ротації.

Унесення середньої дози мінеральних добрив ($N_{31}P_{33}K_{41}$) на фоні 7 т/га побічної продукції забезпечило додатний баланс органічної речовини при глибокому безполицевому та поверхневому обробітках, тоді як за систематичного виконання оранки на 22–25 см формується дефіцитний баланс органічної речовини. За першу ротацію при поверхневому і безполицевому обробітках ґрунту баланс органічної речовини становив: +0,41–0,42 т/га, а за другу ротацію: +0,52–0,83 т/га. За оранки баланс органічної речовини був дефіцитним, як за першу, так і за другу ротацію: –0,86 і –1,16 т/га. Внесення підвищеної дози мінеральних добрив удвічі ($N_{62}P_{66}K_{81}$) на фоні внесення 7 т/га побічної продукції формує бездефіцитний баланс органічної речовини, як за оранки, так і за безполицевого та поверхневого обробітків. На кінець другої ротації в останніх двох випадках баланс органічної речовини в сівозміні був вищим ніж при оранці в 1,54–1,67 рази.

В 5-пільній сівозміні з насиченням зерновими до 60 %, технічними — до 20 % та багаторічними травами — до 20 % без унесення мінеральних добрив та з залишенням побічної продукції в кількості 5 т/га формування балансу органічної речовини за наростаючим виходом мало спадний дефіцитний характер незалежно від системи обробітку ґрунту, як і в попередній сівозміні. Бездефіцитність балансу була характерною для ланцюга сівозміни багаторічні трави—пшениця озима в першу ротацію незалежно від обробітку та для глибокого безполицевого обробітку за другу ротацію.

Після закінчення другої ротації за систематичної оранки баланс органічної речовини був дефіцитнішим у 2,21 і 1,69 рази, ніж за безполицевого та поверхневого обробітків. Порівняно з попередньою сівозміною за аналогічної системи удобрення дефіцитність балансу органічної речовини при поверхневому та безполицевому обробітках знижується в 3,18 і 1,11 рази, тоді як за оранки зростає майже в 1,10–1,12 рази.

При внесенні середньої дози мінеральних добрив ($N_{31}P_{33}K_{41}$) на фоні 7 т/га побічної продукції створюється бездефіцитний баланс

органічної речовини незалежно від способу обробітку ґрунту в сіво-змінах. Але за систематичного глибокого безполицевого обробітку ґрунту бездефіцитність балансу органічної речовини істотно вища впродовж двох ротацій: після першої: +1,27 т/га, а після другої: +1,42 т/га, що відповідає умовам розширеного відтворення родючості, тоді як за поверхневого обробітку та оранки формується баланс, який відповідає простому відтворенню родючості чорнозему.

При внесенні подвійної дози мінеральних добрив ($N_{62}P_{66}K_{81}$) на фоні 7 т/га побічної продукції бездефіцитність балансу органічної речовини за оранки та безполицевого обробітку зростає, як по відношенню до одинарної дози мінеральних добрив із багаторічними травами, так і по відношенню до сівозміни з горохом: у 1,44 раза і у 1,56 раза у першому випадку та в 1,87 і в 1,73 раза в другому. При поверхневому обробітку ґрунту баланс органічної речовини відповідав простому відтворенню родючості чорнозему, хоча його додатність зросла в 1,88 раза відносно одинарної дози, але залишилася меншою в 2,66 раза порівняно з подвійною дозою мінеральних добрив у сівозміні з горохом.

Отже, в умовах лівобережної частини Центрального Лісостепу в 5-пільних сівозмінах із насиченням до 60 % зерновими культурами, в т.ч. 20 % — горохом, 40 % — кукурудзою та в сівозміні, де частина кукурудзи (20 %) і горох замінюється травами та ячменем (20 %) систематичне виконання безполицевого обробітку ґрунту сприяє формуванню балансу органічної речовини, який відповідає розширеному відтворенню родючості чорнозему, тоді як за систематичної оранки, більшою мірою, та поверхневому обробітку, меншою, формується баланс органічної речовини, який відповідає простому (в сівозміні з горохом) та розширеному відтворенню родючості в сівозміні з багаторічними травами.

2.2. Уміст власне гумусових речовин і детриту за різних способів обробітку

Залежно від господарської діяльності людини та використання чорноземів типових у еволюції культурного ґрунтоутворення настає етап, коли його розвиток може спрямовуватися у двох напрямках: 1) послаблення елементарних процесів ґрунтоутворення, що пов'язано з розвитком процесів дегуміфікації, агрофізичної деградації і, як наслідок, зниження природної та ефективної родючості чорноземів;

2) відновлення ґрунтоутворення, що пов'язано зі збереженням та відтворенням високого рівня фізичних, фізико-хімічних і агрохімічних якостей ґрунту та відтворенням саморегуляційних принципів і механізмів прояву природної та ефективної родючості чорноземів [107, 127, 233, 441]. У сучасних умовах для розширеного відтворення родючості чорноземів слід використовувати не тільки гній та мінеральні добрива, але і не менш цінну частину врожаю: солому, гичку, стебла соняшнику і кукурудзи. В умовах ґрунтозахисних технологій, які базуються на безполіцевому обробітку, менші норми органічних і мінеральних добрив мають вищі результати відтворення гумусу, ніж за інтенсивного обробітку [102, 453, 454].

Дослідження показали [120, 125], що на 10-й рік систематичного виконання у сівозміні оранки на 22–32 см, різноглибинного безполіцевого обробітку на 22–32 см і на 5–12 см було визначено запаси загального гумусу, власне гумусових речовин, детриту та активного гумусу до глибини 0–50 см. Визначення проводились на варіанті, де вносились $N_{85}P_{75}K_{65}$ кг д. р. на фоні 15 т/га гною у сівозміні. Аналогічні показники було визначено на чорноземах, які впродовж більше 75 років розорювалися на глибину 30–32 см й на перелозі, який утримувався 10 років (див. рис. 2.5, табл. 2.2). Дослідження показали, що інтенсивне використання чорнозему (оранка більше 75 років) сприяє зниженню вмісту загального гумусу у найбільшій мірі. Запас гумусу (в умовах дослідів) в товщі чорнозему 0–50 см становив 297 т/га проти 328 т/га за оранки; 340 т/га — за глибокого, 359 т/га — за мілкового та мінімального обробітків та 353 т/га — при утриманні перелогу.

Дослідження [107] показали, що різке зменшення вмісту гумусу відбувається лише у перші 10–15 років після розорювання переліжних і цілинних земель. При подальшому окультурюванні чорноземів процеси утворення–розкладу гумусу стабілізуються, а за високої культури землеробства мінералізація гумусу значно стримується, але при цьому тип гумусоутворення залишається характерним для даного типу ґрунтоутворення.

Нами підтверджено висновок: запас власне гумусових речовин (ВГР) за довгострокової оранки стабілізувався на рівні 140 т/га, а їхня кількість підвищувалась від верхньої частини гумусового горизонту до глибини 50 см. При достатньому внесенні мінеральних і органічних добрив запаси ВГР істотно не підвищуються, але характер перерозподілу зберігається. При оранці в шарі ґрунту 20–40 см ВГР було

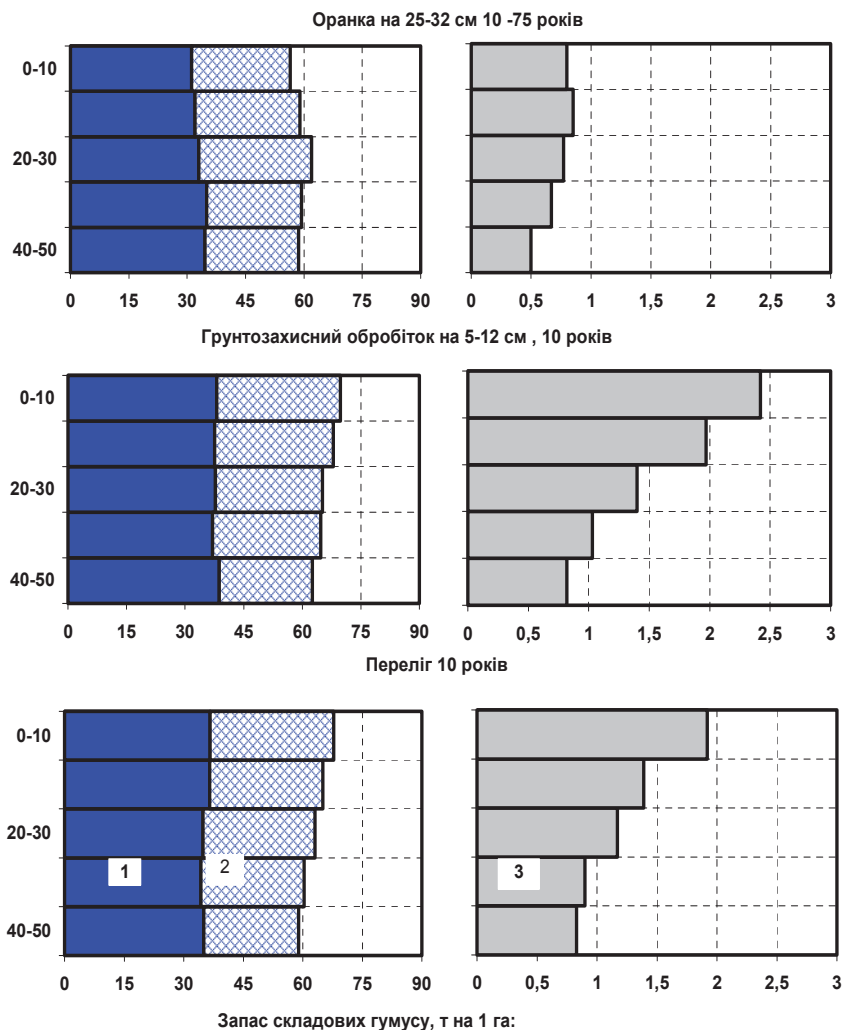


Рис. 2.5. Вплив системи обробітку та утримання чорнозему типового на склад гумусу на 10-й рік проведення досліджень у стаціонарному досліді, $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т гною на 1 га сівозміни: 1 — власне гумусові речовини; 2 — детрит; 3 — новотворений гумус

Таблиця 2.2. Вплив ґрунтозахисного обробітку на гумусний стан чорнозему типового на 10-й рік від початку проведення досліджень у стаціонарному досліді НУБІП при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т/га гною (визначення проводили у першій декаді квітня)

Система обробітку ґрунту	Запаси складових гумусу, т/га				Загальний запас гумусу, т/га	% детриту до загального запасу гумусу
	ВГР*	детрит	ВРГ+ детрит	Активний гумус		
Оранка на 25–32 см	140	55,0	195	1,8	196	28,1
впродовж 75 років	200	95,0	295	2,8	297	31,0
<i>Визначення в стаціонарному досліді на 10-й рік проведення досліджень</i>						
Оранка на 22–32 см	155 215	68,0 110	223 325	2,5 3,3	225 328	30,2 33,5
Безполицевий обробіток на 22–32 см	150 215	75,0 115	225 330	7,0 8,5	232 340	32,3 33,8
Безполицевий обробіток на 5–12 см	155 220	81,0 120	236 340	6,9 9,0	243 359	33,3 33,4
Переліг 10 років	156 219	94,0 125	250 345	6,7 8,5	257 354	36,5 35,4
$HCP_{0,5}$	12,0 16,0	12,0 11,0	17,0 22,0	1,4 2,5	8,0 5,0	—

Примітка: * 0–30 см / 0–50 см.

найбільше, що слід пов'язувати з локалізацією органічних решток і гною у цьому шарі. За систематичного виконання ґрунтозахисних технологій запаси ВГР залишаються майже на тому самому рівні, що й при оранці.

Високий вміст гумусу в цілинних чорноземах пояснюється накопиченням у них детриту. Серед різних компонентів у складі органічної речовини чорнозему детриту надається особливе значення.

Кількість детриту у чорноземах прямо пов'язана з підвищенням умісту та запасами загального гумусу [231]. Детрит здатний акумулювати на своїй поверхні новоутворені та ВГР гумусові речовини, що свідчить про значну його роль у покращенні агрофізичних властивостей чорнозему. Функція детриту у процесі формування макроагрегатів, з одного боку, визначається механічним зв'язуванням агрегатів, а з іншого, наявністю на поверхні детриту ВГР, які пов'язані

з фізико-хімічними процесами ґрунтоутворення. Кількість детриту у ґрунті прямо пов'язана з кількістю водостійких агрегатів розміром більше 1 мм: коефіцієнт кореляції становив $R=+0,85-0,92$.

Визначення вмісту власне гумусових речовин і детриту в структурних окремостях показало, що при збільшенні розміру агрегатів і структурних окремоностей чорнозему в них підвищується вміст детриту, а вміст власне гумусових речовин залишається сталим [233, 109].

Дослідження показали, що за оранки більше 75 років і оранки в умовах досліді детрит становив 28–31 % від загального запасу гумусу, а найбільша його кількість утворюється там, де локалізуються поживні кореневі рештки та гній, тобто у шарі 15–35 см. За глибокого безполицевого обробітку запаси детриту у товщі 0–50 см були вищими у 1,16–1,40 раза відповідно до варіанта довгострокової та культурної оранок. Найістотніше накопичення детриту відбувається у шарі ґрунту 0–20 см, де загальні запаси детриту становили 31–32 % від запасів загального гумусу. Мінімізація обробітку чорнозему до глибини 5–12 см сприяє підвищенню (у 1,10–1,25 раза) вмісту детриту порівняно з оранкою та глибоким безполицевим обробітком. Частка детриту у запасах загального гумусу за мілкого і мінімального безполицевого обробітку становила — 31–32 %, а перерозподіл детриту у товщі 0–50 см відбувався у поверхневих шарах ґрунту. У шарі ґрунту 0–20 см містилося — 60–65 % детриту від усього запасу в 0–50 см шарі чорнозему. Загальна закономірність накопичення та перерозподілу детриту при утриманні перелогі подібна до безполицевого обробітку на 5–12 см з тією лише різницею, що вся 0–50 см товща чорнозему мала високі запаси детриту.

На рис. 2.6 показано пошаровий запас і перерозподіл коренів у гумусовому горизонті (0–40 см) чорнозему типового за ротацію культур у сівозміні. Вплив системи обробітку та внесених добрив, передусім, відображається на перерозподілі коренів. За оранки коренева система наростала вглиб оброблюваного шару, а за безполицевих обробітках формувалася за типом дернини: у 0–10 см шарі чорнозему за мінімального обробітку 5–12 см зосереджувалось 80,5–87,4 % коренів від усієї маси. Диференціація перерозподілу коренів у гумусовому горизонті чорнозему підсилювалася у напрямку мінімізації основного обробітку чорнозему, а загальний вміст коренів у гумусовому горизонті залишався практично однаковим незалежно від системи обробітку.

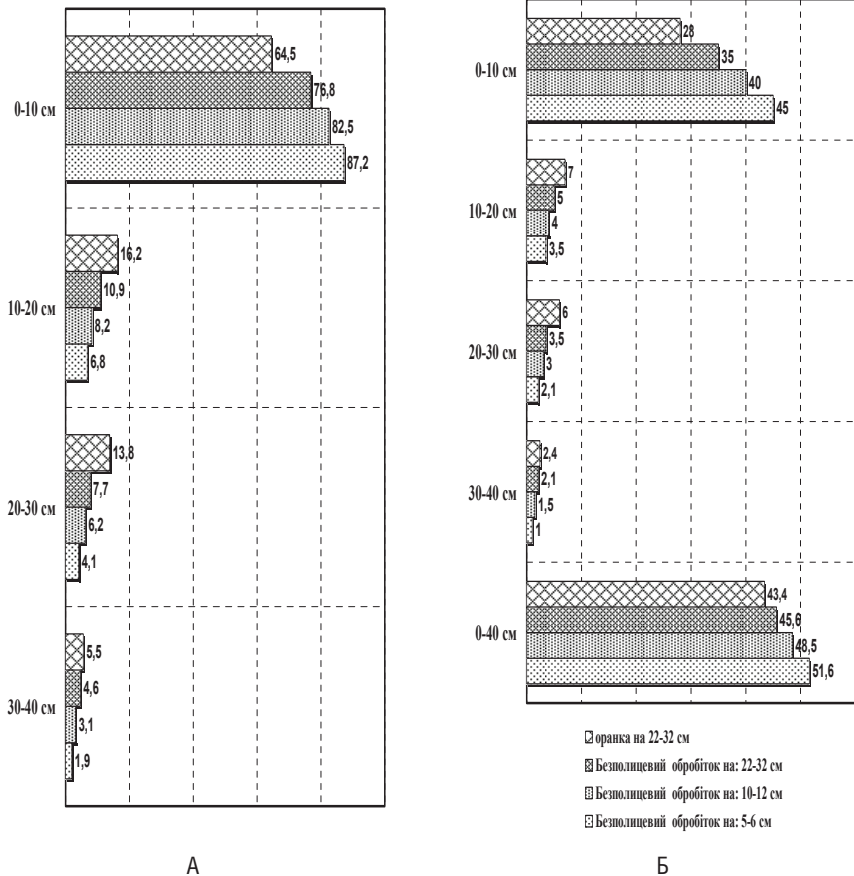


Рис. 2.6. Перерозподіл А (%) та запаси Б (т/га) коренів у гумусовому горизонті чорнозему типового середньогумусного в ланцюгу 10-пільної зерно-просапної сівозміни південної лівобережної частини Лісостепу України

Високий вміст гумусу в цілинних чорноземах пояснюється накопиченням у них детриту, основним джерелом якого у ґрунті є відмерлі напіврозкладені кореневі рештки та прогумусові речовини кореневого ексудату.

З наведених даних видно, що на перелогових і орних чорноземах великої різниці між умістом ВГР немає, але за умови систематичного безполицевого обробітку та утриманні чорнозему в стані перелогу процеси трансформації органічної маси поживних і кореневих решток дещо загальмовані — відбувається їх накопичення у вигляді детриту. Найменш стійким компонентом органічної речовини є детрит, кількість якого в інтенсивно оброблюваних ґрунтах знижується за рахунок порушення взаємокомпенсації умов перетворення органічних решток і утворення гумусу, що пов'язано зі зміною кількісного та якісного складу гумусу. При систематичному виконанні ґрунтозахисних технологій відбувається прискорювання процесів ґрунтоутворення — підвищуються, порівняно з оранкою, на 10–15 % коефіцієнти гуміфікації органічної речовини [65, 71, 121, 219, 443, 454].

Систематичне виконання безполицевих обробітків на різну глибину сприяє утворенню активних (новоутворених) форм гумусу в 0–50 см шарі чорнозему типового середньогумусного. Найбільше їх утворюється при виконанні різноглибинного безполицевого обробітку: загальні запаси у шарі ґрунту 0–20 см були вищими у 2,8–3,3 раза, а на варіанті безполицевого обробітку на 5–12 см у 2,6–2,7 раза вищими, ніж за систематичної оранки. При мінімалізації обробітку відбувається диференціація вмісту активних форм гумусу у гумусовому горизонті чорнозему, тоді як за оранки диференціація проявляється значно меншою мірою. За безполицевого обробітку ґрунту на 5–12 см запаси активних форм гумусу в шарі ґрунту 0–20 см досягали 58–60 % від загальних запасів у товщі 0–50 см, тоді як за оранки — 40–44 %, а за різноглибинного безполицевого обробітку — 52–53 %. Перерозподіл активних форм гумусу в 0–50 см шарі чорнозему характерний для всіх варіантів обробітку чорнозему. Варіанти відрізняються ступенем прояву диференціації у межах товщі 0–50 см. Відновлення диференціації за вмістом активного гумусу є природним процесом ґрунтоутворення в агроценозах і його потрібно стимулювати ґрунтозахисною системою обробітку, а не руйнувати оранкою.

Зміна співвідношення складових гумусу у чорноземі під впливом ґрунтозахисних систем обробітку пов'язана з підвищенням запасів загального гумусу у 0–50 см шарі чорнозему. За систематичної оранки, з унесенням достатньої кількості мінеральних і органічних добрив, запаси гумусу порівняно з варіантами, де виконувалися мілкий та мінімальний безполицеві обробітки були меншими на 31 т/га.

Враховуючи те, що ВГР на всіх варіантах була однакова кількість, підвищення запасів загального гумусу відбувається за рахунок накопичення детриту, а співвідношення запасів ВГР до запасів детриту за мінімалізації обробітку зростає (1,83–1,91 до 1), тоді як за різноглибинного безполицевого обробітку й оранки співвідношення розширюється. При утриманні перелогу запаси гумусу в товщі 0–50 см були на рівні 354 т/га, а співвідношення запасів ВГР до запасів детриту стабілізувалися на рівні 1,65–1,75 до 1.

Отже, виконання безполицевих обробіток чорнозему у сівозміні сприяє відтворенню чорноземного ґрунтоутворюючого процесу в агроценозі. Збагачення 0–50 см шару ґрунту детритом, підвищення вмісту власне гумусових речовин — є ознакою чорноземного ґрунтоутворюючого процесу. Систематичне виконання ґрунтозахисних технологій у сівозміні, в основі яких лежить безполицевий обробіток з поверхневим загортанням гною, пожнивних і корневих решток відтворюють чорноземний процес ґрунтоутворення, що проявляється у накопиченні в складі органічної речовини детриту, активних (новотворених) форм гумусу та підвищенні загального запасу гумусу.

2.3. Вміст колоїдних форм гумусу

Гумус чорноземів утворюється з органічних речовин рослинних організмів, зоофауни та мікроорганізмів. Речовини, що входять до складу вищих рослин і мікроорганізмів після їх відмирання, частково мінералізуються, а частково перетворюються в складний та динамічний за своєю природою комплекс органічних сполук [265, 109]. Сучасні погляди на природу реакцій гумусових речовин із мінеральною частиною ґрунту — це синтез хімічної та колоїдної природи зв'язку гумусових речовин із твердою фазою ґрунту. О.Н. Соколовський [393, 394], М.І. Лактіонов [232, 233], А.І. Жуков [154] розділили ґрунтовий гумус на “активний” та “пасивний”, а І.В. Тюрін [407, 409] виявляв три форми “гумінових речовин типу гумінової кислоти” відповідно до трьох форм зв'язку гумусу з мінеральною частиною ґрунту: 1) гумінові речовини, які хімічно зв'язані з мінеральною частиною твердої фази; 2) гумінові речовини адсорбційно пов'язані з поверхнею ґрунтових часток; 3) гумінові речовини у формі вільних гуматів Са та Mg.

Вивчено довгостроковий (8–9 років) вплив на вміст і загальні запаси гумусу та його якісний склад до глибини одного метра при внесенні середньої дози добрив. Виявлено, що диференціація гумусового гори-

зонту за вмістом загального гумусу збереглася. У шарі ґрунту 0–10 см при оранці вміст гумусу був нижчим, ніж у шарах 10–20 см, 20–30 см, 30–40 см. При безполицевих обробітках (глибокому на 22–32 см, мілкому на 10–12 см, мінімальному на 5–6 см) з поверхні (0–10 см) вміст гумусу був вищий, ніж у нижніх шарах гумусового горизонту.

У шарі ґрунту 0–10 см при різноглибинному ґрунтозахисному обробітку вміст гумусу досягав — майже 6 %, а за безполицевого обробітку на 10–12 та 5–6 см — 5,83 та 5,54 %. У шарі ґрунту 0–30 см загальний вміст гумусу при оранці був достовірно нижчим порівняно з безполицевими обробітками. Найвищим вміст гумусу виявився за глибокого безполицевого обробітку — 5,97 % проти 5,61 % (оранка); 5,76 % (безполицевий обробіток на 10–12 см) та 5,76 % (безполицевий обробіток на 5–6 см). Проте, запаси загального гумусу виявилися вищими при безполицевому обробітку на 10–12 см — 215 т/га, проти 200 т/га за глибокого безполицевого; 212 т/га — за безполицевого обробітку на 5–6 см та 197 т/га — за оранки. У гумусовому горизонті запаси загального гумусу змінювалися аналогічно: 281 т/га, 263 т/га, 271 т/га та 267 т/га відповідно до способів обробітку.

Визначення вмісту активних (новоутворених) гумусових речовин у шарі ґрунту 0–30 см показало, що при оранці їх утворилося — 2,91 % проти 2,69, 2,30, 2,25 % при глибокому, мілкому та мінімальному безполицевому обробітках. Рухомість гумусових речовин знижувалася у напрямку від оранки (52 %) до мінімального безполицевого обробітку.

У товщі ґрунту 40–70 см уміст і запаси загального гумусу були вищими при виконанні безполицевих обробітків на різну глибину. При оранці гумусу містилося — 137 т/га (3,69 %), за різноглибинного безполицевого обробітку — 142 т/га (3,83 %); мілкого безполицевого обробітку та мінімального на 5–6 см — 134 т/га (3,79 %) та 139 т/га (3,81 %) відповідно. Закономірно знижувався вміст рухомих гумусових речовин: 1,73 %, 1,84, 1,38 та 1,41 % відповідно до обробітків, що вплинуло на рухомість останніх — 45–47 % при глибоких обробітках і 37 % при мілкому, мінімальному обробітках.

У товщі 70–100 см уміст і запаси загального гумусу збільшувались при виконанні безполицевих обробітків на різну глибину. За оранки загального гумусу містилося — 2,29 % (75 т/га), за мілкого та мінімального обробітків — 2,53 % (87 т/га) та 2,25 % (75 т/га) відповідно. Найбільшими вміст і запаси рухомих гумусових речовин виявилися

за оранки — 1,14 % (38 т/га), за різноглибинного безполицевого обробітку — 0,97 % (22 т/га) та 0,83–0,89 % (26–27 т/га) за мілкого та мінімального безполицевого обробітків. Розрахунок рухомості гумусових речовин показав, що на варіанті оранки рухомість була вищою у 2 рази порівняно з варіантами безполицевого обробітку на різну глибину: 69 % проти 36–37 % відповідно.

Під впливом різних систем обробітку змінюється гумусний стан метрової товщі чорнозему. Вміст загального гумусу зростає на 0,17–0,20 % при виконанні безполицевого обробітку на 22–32 та 5–12 см. Уміст і запаси гумусових речовин, здатних до пептизації, знижується при ґрунтозахисних обробітках у міру його мінімалізації, а рухомість гумусових речовин знижується у 1,5 рази. Активізація гумусових речовин при виконанні систематичної оранки відбувається на фоні зменшення загального вмісту гумусу, а за безполицевих обробітків на 22–32, 10–12 та 5–6 см навпаки — збільшення вмісту гумусу супроводжується зниженням рухомості колоїдних форм гумусу.

На 10-й рік проведення досліджень визначення вмісту гумусових речовин, здатних до пептизації для порівняння було взято чотири варіанти досліду з різними системами обробітку та варіант довгострокової оранки більше 75 років, а також варіант з утриманням перелогу впродовж 10 років (див. рис. 2.7).

Довгострокове виконання оранки впродовж більше 75 років та оранки впродовж 10-ти років за умов польового стаціонарного досліду знижує вміст рухомих гумусових речовин у шарі 0–20 см. У нижній частині гумусового горизонту та на глибині 40–50 см кількість гумусових речовин, здатних до пептизації, за оранки збільшується, що пов'язано з локалізацією гною, мінеральних добрив і кореневих решток при виконанні основного обробітку.

Рухомість I та II фракцій гумусових речовин у верхніх шарах (0–20 см) змінюється у межах 23–27 %, а у нижніх (30–50 см) — 23–31 %. У зв'язку з тим, що вміст I фракції при виконанні оранки не перевищував 0,5–1,08 %, а диференціація за вмістом у межах 0–50 см шару не спостерігалася, то пошаровий вміст, запаси та рухомість змінювалися згідно до виявлених раніше закономірностей поведінки гумусових речовин, здатних до пептизації, запаси яких з глибиною збільшувались і становили у шарі ґрунту 30–50 см — 39–47 т/га, а з поверхні — 36–40 т/га. Відповідно змінювалася рухомість цієї фракції гумусових речовин.

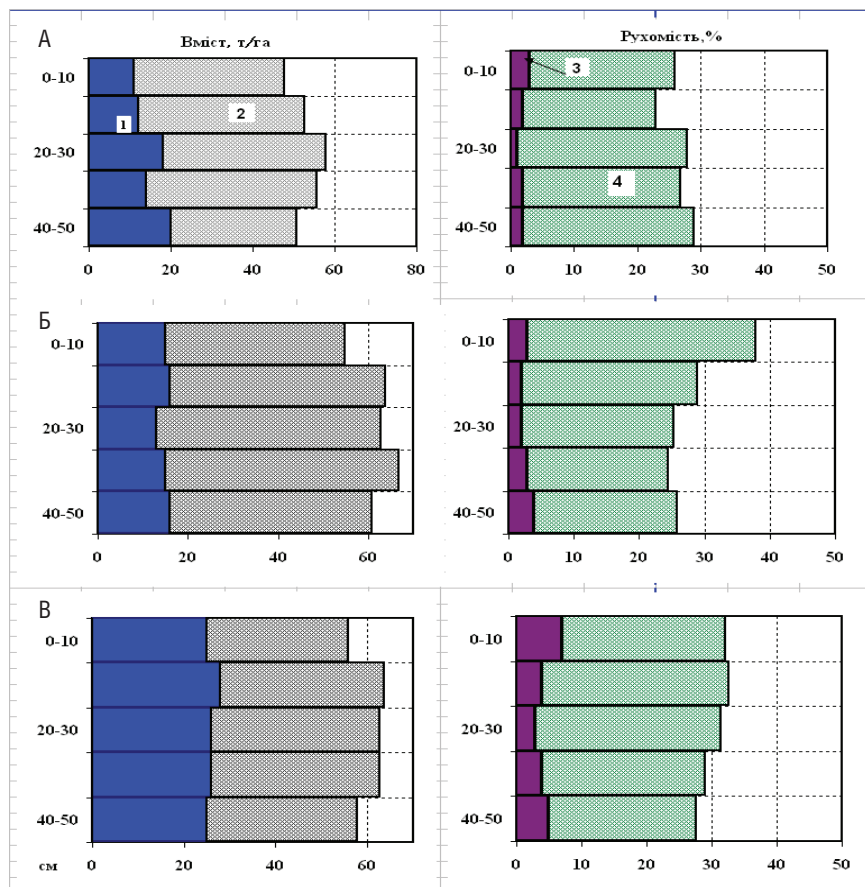


Рис. 2.7. Вплив обробітку чорнозему типового середньогумусного на запаси гумусових речовин, здатних до пептизації (т/га) та їх рухомість (%) на 10-й рік проведення досліджень при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 150$ т/га гною: *А* — систематична оранка на 22–32 см більше 75 років; *Б* — безполіцевий обробіток на 5–12 см; *В* — переліг 15 років; 1 — перша фракція, 2 — фракція (т/га); рухомість: 3 — першої фракції, 4 — другої фракції (%)

Систематичне виконання безполіцевого обробітку, в основі якого лежить обробіток без обертання скиби на глибину від 22–32 см до 5–12 см, впливає на вміст, запаси, перерозподіл і рухомість гумусо-

вих речовин, здатних до пептизації. Гумусових речовин І фракції за глибокого та мілкового безполицевого обробітків з поверхні (0–20 см) утворювалося в 3–4, а у нижніх шарах гумусового горизонту (30–50 см) у 1,1–2,2 раза більше, ніж за оранки. Вміст речовин цієї фракції при виконанні безполицевого обробітку на 10–12 см у нижній частині гумусового горизонту чорнозему наближався до вмісту за систематичної оранки. Вміст гумусових речовин І та ІІ фракцій за безполицевих обробітків був вищим із поверхні (0–20 см) у 1,26–1,33 раза або на 11–14 т/га.

Рухомість пептизованого гумусу речовин підвищувалась до 40–44 %, що вище, ніж за оранки на 15–19 %. У нижній частині гумусового горизонту (30–40 см) рухомість і вміст вище зазначених гумусових речовин була дещо нижчою, але перевищувала вміст та рухомість при оранці.

Подальша мінімізація основного обробітку ґрунту у сівозміні до 5–6 см сприяє збільшенню вмісту рухомих фракцій пептизованих гумусових речовин. Диференціація гумусного горизонту за вмістом та запасами речовин, що здатні до пептизації, ще більше виражена, ніж у попередніх випадках. Рухомість гумусових речовин знижувалась у шарі 0–20 та 20–40 см у 1,03–1,11 раза по відношенню до попередніх варіантів обробітку, але залишалась вищою, ніж при оранці у 1,30–1,44 раза. Характер поведінки гумусових речовин, здатних до пептизації, при десятирічному утриманні перелогу свідчить про те, що мінімізація обробітку ґрунту до 5–6 см, найбільшою мірою, моделює природний процес ґрунтоутворення, коли на фоні збільшення вмісту та запасів загального гумусу зменшується рухомість першої і другої фракцій пептизованих речовин. Тому виконання глибокого, мілкового та мінімального безполицевого обробітків у сівозміні моделює процес природного накопичення гумусу та відтворення якісного його стану в умовах агроценозу.

Довгострокове застосування ґрунтозахисних технологій впливає на вміст і перерозподіл рухомих гумусових речовин у шарі 0–100 см. Утворення гумусових речовин, які здатні до пептизації, у товщі 0–100 см при виконанні систематичної оранки відбувається на фоні зменшення загального вмісту гумусу, а за безполицевого обробітку на 22–32 см, 10–12 см і 5–6 см навпаки, спостерігається тенденція до збільшення загального гумусу, яка супроводжується зниженням їхньої рухомості. Докорінні зміни в колоїдних властивостях гумусу відбулися на кінець

Таблиця 2.3. Вплив системи обробітку на гумусний стан чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на 10-й рік проведення досліджень при внесенні $N_{67/75}P_{650}K_{580} + 120 \text{ т/га}$ гною

Потужність шару чорнозему	Вміст загального гумусу, % та запас (т/га)			Вміст (%) та запас (т/га) рухомих гумусових речовин І+ІІ фракції			
	Оранка на 22-32 см	Безпліцевий обробіток на:		Оранка на 22-32 см	Безпліцевий обробіток на:		
		22-32 см	10-12 см	5-6 см	22-32 см	10-12 см	5-6 см
0-30	5,61 197	5,87 200	5,76 215	5,76 212	2,91 79,0	2,69 78,0	2,30 82,0
					Рухомість, %, до загального вмісту гумусу		
					52,0	45,0	39,0
40-70	3,69 137	3,83 142	3,79 134	3,81 139	1,73 58,0	1,84 55,0	1,38 50,0
					Рухомість, %, до загального вмісту гумусу		
					47,0	40,0	37,0
70-100	2,29 75,0	2,43 82,0	2,53 87,0	2,25 75,0	1,58 38,0	0,97 22,0	0,89 26,0
					Рухомість, %, до загального вмісту гумусу		
					69,0	40,0	36,0
0-100	3,86 410	4,06 423	4,03 436	3,94 426	2,07 175	1,83 155	1,52 158
					Рухомість, %, до загального вмісту гумусу		
					56,0	37,3	37,3

$HCP_{0,5}$: 0-30 см — 0,15%; 40-70 см — 0,14%; 40-70 см — 0,15%; 70-100 см — 0,17%; 0-100 см — 0,16%.

ротації культур у 10-пільній зерно-просапній сівозміні порівняно з 5-м роком при застосуванні ґрунтозахисних обробітків (див. табл. 2.3).

2.4. Відтворення різноманіття чорноземів типових в агроценозах

Для високої ефективності безполицевого обробітку [119, 186] необхідно відтворити органогенний шар у верхній третині гумусового горизонту чорнозему типового з високою целюлозолітичною активністю, яка за безполицевого обробітку зростає на 20–30 %, з домінуванням мікроорганізмів-деструкторів роду *Cellvibrio*. Сформований шар рослинної мульчі повинен лежати на біологічно активному 0–15 см шарі ґрунту, який повинен бути комфортним середовищем для відтворення ґрунтового різноманіття, а нижня частина шару рослинної мульчі повинна поступово, за допомогою ґрунтових мікроорганізмів і мезофауни, залучатися у малий біологічний кругообіг (МБК) речовини та енергії у ґрунті. За 5–8 років систематичного виконання безполицевого обробітку 0–15 см шар чорнозему і шар, щорічно поновлюваної мульчі після збирання культур, за допомогою ґрунтових мікроорганізмів і зоофауни повинні стати єдиним органічним цілим або, точніше, сформованим людиною морфологічним ґрунтовым горизонтом.

Установлено, що застосування безполицевого обробітку сприяє зростанню кількості мікроміцетів і стрептоміцетів на 25–27 % і 10–12 % без унесення добрив і на 14–16 % і 20–25 % з унесенням органо-мінерального удобрення порівняно з систематичною оранкою. Покращення гумусованості верхньої третини гумусного горизонту при безполицевому обробітку пов'язано зі збільшенням кількості мікроорганізмів: порівняно з оранкою в шарі ґрунту 0–15 см кількість мікроміцетів і стрептоміцетів була в 1,15–1,22 і 1,23–1,49 рази більшою, а в шарі ґрунту 15–30 см — у 1,05–1,15 і 1,08–1,22 рази меншою (табл. 2.4).

Безполицевий обробіток чорнозему стримує мобілізаційні процеси, про що свідчить зниження коефіцієнтів мінералізації, які встановлюються за співвідношенням груп мікроорганізмів КАА до МПА: в шарі ґрунту 0–15 см співвідношення в 1,09–1,18, а в 15–30 см у 1,11–1,18 рази нижче порівняно з систематичною оранкою, а абсолютна кількість мікроорганізмів МПА і КАА за безполицевого обробітку

Таблиця 2.4. Вплив системи обробітку на гумусний і мікробіологічний стан чорнозему типового середньогумусного легкогоглинистого

Потужність шару ґрунту, см	Вміст гумусу, % т/га	Чисельність мікроорганізмів, млн/г ґрунту				
		МПА	КАА	КАА МПА	мікро-міцети	стрепто-міцети
Оранка на 22–32 см						
0–15	$\frac{5,64}{115}$	25,0	34,0	1,34	54,0	760
15–30	$\frac{5,61}{115}$	25,0	32,0	1,29	49,0	677
Безполицевий обробіток на 5–12 см						
0–15	$\frac{5,86}{125}$	36,0	40,0	1,14	66,0	1130
15–30	$\frac{5,75}{124}$	22,0	24,0	1,09	43,0	553

з поверхні гумусового горизонту вища в 1,21–1,44 і 1,09–1,18 раза порівняно з оранкою. В шарі ґрунту 15–30 см закономірність зворотна: вміст зазначених груп мікроорганізмів вищий в 1,05–1,14 та 1,15–1,33 раза. Саме ця обставина пояснює явище підвищення вмісту детриту й активного гумусу в 0–30 і 0–50 см шарі чорнозему при виконанні ґрунтозахисного обробітку в агроценозі (див. табл. 2.2).

Диференціація гумусового горизонту чорнозему за мікробіологічною активністю, вмістом гумусу, детриту є природним явищем і, найбільшою мірою, проявляється за безполицевого обробітку, який стимулює залягання кореневої системи за типом “дернини”: локалізація (75–85 %) коренів у 0–15 см шарі ґрунту. Поверхнєве залягання кореневої системи стимулює явище хемотаксису, на яке реагують мікроорганізми, створюючи стабільні, з чіткою прив’язкою до верхньої частини гумусового горизонту, угруповання, для яких характерні невеликі коефіцієнти флуктуації чисельності та наявність міцної структури кореляційних зв’язків між різними асоціаціями ґрунтових мікроорганізмів і зоофауною.

Між масою коренів, кількістю мікроорганізмів, активністю гідролітичних ферментів, рівнем зволоженості доступністю основних

макроелементів живлення у 0–20 см шарі чорнозему та урожайністю культур виявлено прямий кореляційний зв'язок на рівні сильних кореляцій: $R=+0,65-0,95 \pm 0,10-0,19$, тоді як при оранці рівень кореляційних зв'язків послаблюється до слабого рівня, а зазначені параметри більше залежні від рівня зволоженості за період вегетації культур у сівозміні.

Довгострокове застосування безполицевого мінімального обробітку призводить до збільшення вмісту загального азоту у ґрунті (шар 0–30 см) — на 10–12 %, а у шарі ґрунту 0–15 см — на 18–20 % порівняно з оранкою (табл. 2.3). Уміст сполук азоту, що легкогідролізуються, підвищується у 1,20–1,25 та 1,28–1,32 рази відповідно шарам ґрунту.

За мінімального безполицевого обробітку вміст мікроорганізмів, які використовують органічні (МПА) і мінеральні (КАА) форми азоту в 0–15 см шарі ґрунту вищий порівняно з оранкою: без унесення добрив — на 18–23 %, а при внесенні органічних і мінеральних добрив ($\text{НРК}_{(200-250)} + 10-12$ гною на 1 га сівозміни) — на 25–30 %, що забезпечує підвищення біогенності у 0–15 см шарі ґрунту в 1,29–1,50 рази порівняно з оранкою.

Показник біогенності по відношенню до вмісту сполук азоту, що легко гідролізуються, відповідно зростає на 118 %. Прискорення кругообігу біофільних елементів, речовини та енергії припадає на 4–5-й рік систематичного виконання ґрунтозахисних технологій в агроценозах, що пов'язано з відновленням природного статусу біоорганомінерального комплексу (БОМК за Мішустіним) чорнозему (табл. 2.5).

При цьому знижується дефіцитність МБК за рахунок виносу та прискорення кругообігу енергії та біофільних елементів у 2,4–4,5 рази в об'ємі трофічних зв'язків культурних рослин, угруповань мікроорганізмів і зоофауни. При застосуванні ґрунтозахисних технологій чисельність останніх у 0–15 см шарі ґрунту була вищою — 1,62–1,86, а у шарі ґрунту 15–30 см — на 1,33–1,46 рази більша, ніж при систематичній оранці, що збільшує переритість гумусованого горизонту на 15–25 % і підвищує кількість капролітів на 25–30 % (табл. 2.6).

Аналізуючи біогенність чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового виявлено [112, 132], що його найвищий показник при застосуванні мілкого безполицевого обробітку, але це не призвело до накопичення вмісту загального гумусу, який при утриманні перелогу при найменшому показнику біогенності був найвищим. Найвищий

Таблиця 2.5. Вплив способу обробітку чорнозему типового легкоглинистого на показники біогенності чорнозему типового при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т гною на 1 га сівозміни

Вміст загального гумусу, %	Азот, мг на 100 г ґрунту		Чисельність мікроорганізмів, млн на 1 г ґрунту		***Біогенність ґрунту до: (кількість, млн мікроорганізмів на 1 мг азоту ґрунту)	
	загальний	легко-гідролізованих сполук	КАА + МПА	загальна кількість	загального азоту	до азоту легкогідролізованих сполук
<i>Оранка на 22–32 см</i>						
5,64*	345	15,5	59,0	870	250	17,0
5,61	350	15,5	57,0	780	223	16,0
5,63**	348	15,5	58,0	825	237	17,5
<i>Ґрунтозахисний обробіток на 5–12 см</i>						
5,86	370	18,5	75,0	1288	365	20,0
5,75	337	13,9	50,0	650	195	15,0
5,81	355	16,2	62,50	969	280	17,5
<i>± до оранки (%)</i>						
106	107	119	127	148	150	118
97,0	96,3	89,7	87,7	85,0	87,4	93,8
102	102	105	108	118	118	101
<i>Переліг 10–15 років</i>						
6,16	395	22,0	140	2490	630	—
5,94	350	15,0	100	1200	343	—
6,05	372,5	18,5	120	1845	486	—

* — 0–15 см / 15–30 см; ** — 0–30 см; *** — за Є.Н. Мішустіним, (1975).

вміст гумусу за результатами 36-річного використання різних обробітків ґрунту був у варіантах з глибоким безполицевим обробітком при середньому, порівняно з оранкою та поверхневим обробітком, показнику біогенності (див. рис. 2.8).

Найбільша кількість фосформобілізувальних мікрорганізмів виявлена при застосуванні глибокого безполицевого обробітку, що призвело до найвищого показника вмісту рухомих фосфатів за рахунок підкислення реакції ґрунтового середовища. Виявлено тісний коре-

Таблиця 2.6. Вплив обробітку чорнозему типового на кількість поукісних і корених решток, чисельність дощових черв'яків та целюлозолітична активність на 9-10-й рік проведення досліджень, шар 0-30 см [65]

Система обробітку чорнозему*	Чисельність			Целюлозо- літична активність, %	Кількість мікроміцетів та стрепто- міцетів, тис. на 1 г ґрунту
	дощових черв'яків, шт. на 1 м ² % від 0-30 см	ногохвісток	кліщів		
	екз./м ² у 0-15 см шарі ґрунту				
1	25,0 65,0	7046	7140	10,5 9,8	10,5 9,8
2	48,0 79,0	8863	10247	13,5 12,5	13,5 12,5
3	96,0 97,0	—	—	—	—

* 1 — Оранка на 22-32 см; 2 — безпліцевий обробіток на 5-12 см; 3 — переліг 10-ти років.

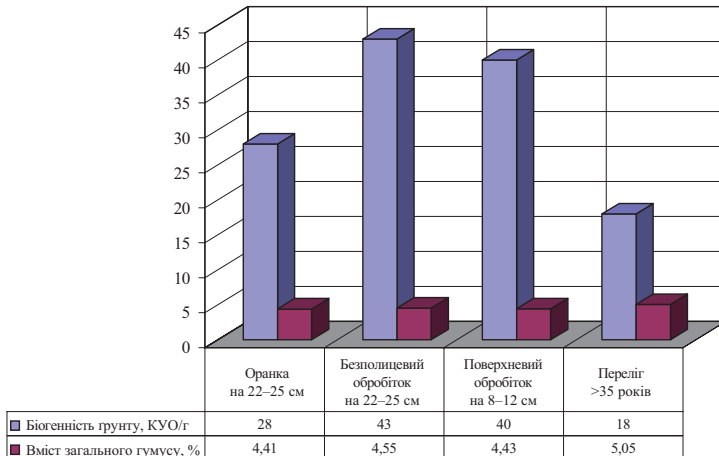


Рис. 2.8. Довгостроковий вплив способів обробітку і утримання на загальну біогенність та вміст гумусу

* Демиденко О.В. Біогенність чорнозему типового за різного обробітку ґрунту / О.В. Демиденко, О.Л. Тонха, В.А. Величко // Вісник аграрної науки. — 2013. — № 1. — С. 20-23.

ляційний зв'язок ($r=+0,67\pm0,04$) між вмістом рухомих сполук фосфору та кількістю фосформобілізуючих мікроорганізмів. Зменшення кислотності при поверхневому обробітку на 14 % та при підвищенні на 41 % вмісту фосформобілізуючих мікроорганізмів призвело до формування меншого вмісту рухомих сполук фосфору. Співвідношення кількості мікроорганізмів, які розкладають органічні форми азоту та мікроорганізмів, які асимілюють мінеральні форми азоту на перелозі становить 1:1, що призводить до формування найвищого вмісту амонійного і нітратного азотів (рис. 2.9, 2.10).

Співвідношення за оранки становило: 1 до 2,22, а глибокому та мілкому безполицевих обробітках: 1 до 2,82 та 1 до 2,27 відповідно. Найбільша кількість гетеротрофів, що висіваються на МПА, була при поверхневому обробітку, а мікроорганізмів, які асимілюють мінеральні форми азоту — при глибокому безполицевому обробітку.

Отже, обробіток ґрунту є вагомим фактором впливу на чисельність еколого-трофічних та таксономічних груп мікроорганізмів. Застосування безполицевого обробітку сприяє зменшенню процесів

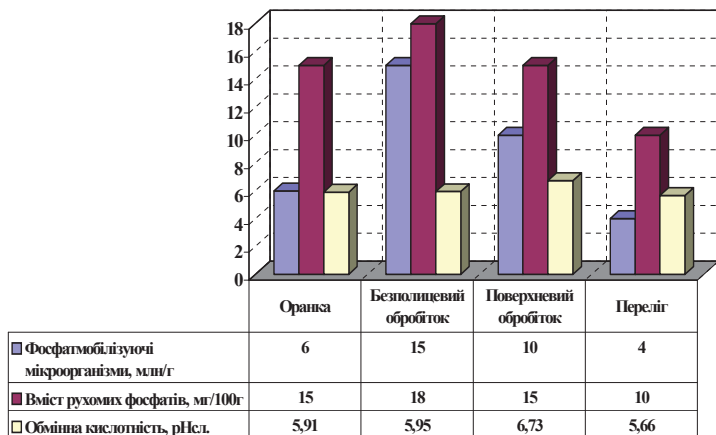


Рис. 2.9. Довгостроковий вплив способу обробітку і утримання чорнозему типового на вміст рухомих сполук фосфору, обмінну кислотність та чисельність фосформобілізуючих мікроорганізмів (шар ґрунту 0–20 см)*

* Демиденко О.В. Біогенність чорнозему типового за різного обробітку ґрунту / О.В. Демиденко, О.Л. Тонха, В.А. Величко // Вісник аграрної науки. — 2013. — № 1. — С. 20–23.

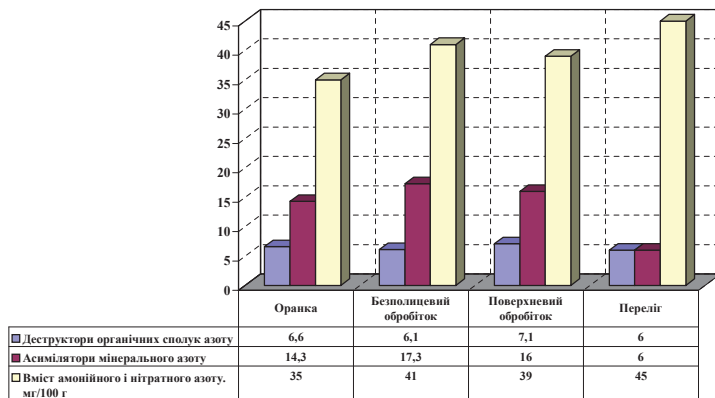


Рис. 2.10. Довгостроковий вплив способу обробітку і утримання чорнозему на кількість деструкторів органічних сполук азоту та асиміляторів мінеральних форм азоту та вміст амонійного і мінерального азоту (0–20 см) *

* Демиденко О.В. Біогенність чорнозему типового за різного обробітку ґрунту / О.В. Демиденко, О.Л. Тонха, В.А. Величко // Вісник аграрної науки. — 2013. — № 1. — С. 20–23.

мінералізації, підсиленню гумусонакопичення, покращенню забезпеченості рослин рухомими формами фосфору і мінеральними сполуками азоту.

2.5. Ґрунтоутворювальна і ґрунтозахисна роль соломи та інших післяжнивних решток в агроценозах [118, 125, 432]

Для відтворення вмісту органічної речовини в ґрунті необхідно залишати на полі менш цінну частину врожаю (38–40 %): солому, подрібнені стебла кукурудзи і соняшнику. Роль стерні та пожнивних решток важко переоцінити — вплив мульчі з стерні і пожнивних решток роблять її незамінною при розширеному відтворенні родючості ґрунтів і є важливою складовою умови відновлення ґрунтоутворення в агроценозі [44]. Чим більше буде накопичено на поверхні ґрунту рослинних решток, тим більше наближається культурний ґрунтоутворювальний процес до природного дернового процесу ґрунтоутворення, за рахунок якого природа створила високу потенційну родючість чорноземів лівобережного Лісостепу України. Дослідження [65] по-

казали, що при заорюванні соломи з унесенням мінеральних добрив і компенсаційних доз мінерального азоту вміст гумусу в 0–30 см шарі чорнозему порівняно з базовим значенням на початку досліджень підвищується на 0,23–0,25 %, запаси гумусу на 8 т/га.

Внесення аналогічної кількості соломи і дози мінеральних добрив в умовах систематичного різноглибинного безполицевого обробітку впродовж 10-ти років сприяло тому, що вміст гумусу в 0–30 см шарі чорнозему по відношенню до базового показника підвищився на 0,30 %, що в 1,25 раза вище порівняно з варіантом оранки. Запаси гумусу були вищими на 15 т/га. Підвищення вмісту гумусу відбулося за рахунок накопичення його в шарі чорнозему 0–15 см: по відношенню до базового надбавка становила 0,46 %, а запаси зросли на 9 т/га. За оранки надбавка гумусу в шарі ґрунту 0–15 см по відношенню до безполицевого обробітку зменшилась у 1,84 раза, а запаси знизились в 1,9 раза.

В шарі ґрунту 15–30 см за оранки вміст гумусу був дещо вищим, хоча запаси виявилися однаковим незалежно від системи обробітку чорнозему. Показовим є те, що за безполицевого обробітку в 0–15 см шарі ґрунту без унесення мінеральних і органічних добрив відбувається процес накопичення гумусу (+ 0,20 %) порівняно з базовим показником і систематичною оранкою, проте в шарі ґрунту 15–30 см вміст гумусу знижується на 0,08 %. У цілому в шарі ґрунту 0–30 см вміст гумусу підвищився на 0,06 %, а запаси зросли на 2 т/га, що слід віднести на більш ефективну гуміфікацію коренових і післяжнивних решток у верхній третині гумусового горизонту чорнозему.

Дослідження показали, що відтворення гумусу в 0–30 см шарі ґрунту при внесенні гною в кількості 12 т/га + $N_{75}P_{65}K_{65}$ відбувається дещо ефективніше ніж при внесенні соломи, але в умовах безполицевого обробітку при використанні соломи утворюється практично однакові запаси гумусу: 82–83 т/га, 78–83 т/га, 159–166 т/га відповідно шарам ґрунту 0–15 см, 15–30 і 0–30 см. При оранці запаси гумусу в шарі ґрунту 0–15 були нижчими на 5,6 % — 8,5 %, а шарі ґрунту 0–30 см на 3,8–4,2 %, незалежно від виду органічних добрив (табл. 2.7).

Заслуговує на увагу явище збільшення гумусу в глибинних шарах ґрунту, до яких при ґрунтозахисних системах обробітку солома не потрапляла. Пояснення цьому явищу слід шукати в гіпотезі, яку ще в 30-х роках 20 сторіччя сформував І.В. Тюрін [407], про те що гумус утворюється в аеробних умовах, тобто за наявності кисню. Цю гіпо-

Таблиця 2.7. Вплив системи обробітку і внесення органічних добрив на відтворення гумусу чорнозему типового центральної частини Лівобережного Лісостепу України

Дози добрив на 1 га сівозміни	Шари ґрунту, см			± до базового показника	± до оранки
	0-15	15-30	0-30		
Базовий вміст гумусу в 1982 році					
—	3,78 74,3	3,81 76,6	3,80 151	—	—
Оранка на 22–32 см (вміст гумусу в 1992 році)					
Без добрив	3,79 73,7	3,80 75,2	3,79 149	−0,01 −2,0	—
12 т/га гною + N ₇₅ P ₆₅ K ₆₅	4,08 75,0	4,10 79,3	4,07 154	+0,27 +3,0	—
2,4 т соломи + N ₇₅ P ₆₅ K ₆₅	4,01 78,6	4,04 80,0	4,04 159	+0,24 +0,80	—
Різноглибинний безполицевий обробіток (уміст гумусу в 1992 році)					
Без добрив	3,98 78,2	3,73 75,0	3,86 153	+0,06 +2,0	+0,07 +4,0
12 т/га гною + N ₇₅ P ₆₅ K ₆₅	4,38 82,1	4,04 78,0	4,21 159	+0,41 +8,0	+0,14 +5,0
2,4 т соломи + N ₇₅ P ₆₅ K ₆₅	4,24 83,3	3,96 83,0	4,10 166	+0,30 +15,0	+0,06 +7,0

тезу було розвинуто в працях М.М. Кононової [217], Є.М. Мішустіна [288]. У кінцевому варіанті нами її сформовано так [65, 440, 441]: в осінній період на поверхні та в верхньому шарі ґрунту за наявності кисню відбувається первинний гідроліз органічних речовин з утворенням мономерних сполук типу хінонів, амінокислот та ін., розчинних у воді. З низхідною течією води вони проникають у більш глибокі горизонти ґрунту, де конденсуються в ланцюжки гумусових кислот під впливом обезводнення — висихання чи виморожування.

Ця гіпотеза пояснює, чому в шарі ґрунту 20–30 см, в який органічні добрива при безполицевому обробітку не вносяться, вміст гумусу за 10 років зріс на 0,15 % за НІР_{0,95}=0,11 %, що свідчить про його розширене відтворення. Вміст гумусу при оранці був дещо вищим, проте запас однаковим.

Спосіб загортання органічних добрив у ґрунт істотно впливає на їх коефіцієнти гуміфікації: вони вищі при поверхневому загортанні порівняно з заорюванням. Уміст гумусу в чорноземах впливає на процеси гуміфікації рослинних решток і гною: при підвищенні вмісту гумусу знижується ступінь розкладу, як соломи так і гною, але внесення мінерального азоту в дозі N_{10} сприяє тому, що процес гуміфікації соломи в ґрунті відбувається більш інтенсивно: ступінь розкладу соломи підвищується, а коефіцієнти її гуміфікації в ґрунті знаходяться на рівні коефіцієнтів гуміфікації гною (табл. 2.8).

Поверхнєве загортання соломи сприяє більшому на 15–20 % виходу новоутворених гумусових речовин і зміні їх групового складу порівняно з заорюванням. Унесення компенсаційної дози азоту підсилює гуміфікацію соломи та сприяє підвищенню в 1,3 раза гуматності новоутворених гумусових речовин. Проведені дослідження засвідчують про те, що внесення соломи та поверхнева її заробка в 0–15 см шар ґрунту з унесенням компенсаційних доз мінеральних добрив сприяє підсиленню процесів гуміфікації, не поступаючись аналогічним процесам при внесенні гною в оптимальному співвідношенні з мінеральними добривами. Невисока гумусованість, або прояв дегуміфікації чорноземів сприяє підсиленню зазначених процесів при внесенні соломи взамін гною.

Таблиця 2.8. Вплив компенсації азотної недостатності на гуміфікацію соломи озимої пшениці і груповий склад новоутворених гумусових речовин у чорноземах типових леоглинистих Лівобережного Лісостепу України [65]

Система обробітку ґрунту	Варіант дослідіду	Глибина, см*		Вміст, %		ГК ФК
		0-15	15-30	ГК**	ФК***	
Оранка на 22-32 см	Солома	16,7	17,9	—	—	—
	Солома + N_{10}	17,0	18,3	16,0	13,0	1,2 до 1
Безполіцевий обробіток на 22–32 см	Солома	17,8	18,0	—	—	—
	Солома + N_{10}	18,3	18,1	17,5	11,0	1,6 до 1
± до оранки	Солома	+1,1	+0,1	—	—	—
	Солома + N_{10}	+1,4	–0,2	+1,5	–2,0	—

* Коефіцієнти гуміфікації; ** ГК — гумінові кислоти; *** ФК — фульвокислоти.

На чорноземах із вмістом гумусу 3–4 % значення коефіцієнтів гуміфікації соломи через рік після загортання в шар ґрунту 0–15 см наближаються за своїм значенням до коефіцієнтів гуміфікації гною, а при заорюванні соломи вони нижчі у 1,52 раза. Внесення соломи на чорноземах із вмістом гумусу більше 5 % сприяє зниженню коефіцієнтів гуміфікації в 1,40–1,45 раза в шарі ґрунту 0–15 см і в 1,10–1,17 раза в шарі ґрунту 15–30 см. Отримані результати засвідчують, що на малогумусних чорноземах ефективною є заробка соломи в 0–15 см шар ґрунту, а найвища ефективність від цього виду добрив досягається через рік після внесення. Хоча за здатністю до гуміфікації солома поступається гною. Особливо ця властивість соломи проявляється при внесенні її на чорноземах із високим вмістом гумусу.

Органо-мінеральна система удобрення з гноєм сприяє підвищенню кількості рослинних решток по відношенню до неудобреного варіанта за безполицевого обробітку, на 34–53 %, а при внесенні соломи з компенсаційною дозою азоту на 48–53 %. При систематичній оранці цей показник у 1,25–1,30 раза нижчий. Збагачення з року в рік верхньої третини гумусового горизонту чорнозему пожнивними, кореневими рештками і соломою сприяє покращенню ґрунтової мікрофлори: відбувається збільшення вмісту еколого-трофічних груп мікроорганізмів (бактерій і грибів), які використовують органічний азот, на 26–30 % порівняно з заорюванням, а в шарі ґрунту 15–30 см на 20–30 % зменшується вміст бактерій, які використовують мінеральний азот, що забезпечує гальмування процесів мінералізації й активізує процес гуміфікації органічної речовини, внесеної в ґрунт (див. табл. 2.4, 2.5). Нарівні з зазначеними процесами зростає інтенсивність асиміляції вуглекислоти ґрунту гетеротрофними мікроорганізмами організмами, кількість яких зростає при поверхневій заробці органічних добрив на 15–30 %.

Отже, для отримання високої продуктивності агроценозу за систематичного безполицевого обробітку необхідно збагатити 0–15 см шар чорнозему рослинними рештками всіх стадій розкладу, щоб створити умови для розвитку сапрофітної гетеротрофної мікрофлори, здатної розкладати целюлозу — це дасть змогу створити виваженість в азотно-фосфорному живленні: азоту в вегетативну фазу росту рослин буде більше в нітратній формі, а у генеративну — в аміачній. Фосфор буде вивільнятися з органо-мінеральних сполук. Але це можливо, коли компенсується азотна недостатність при біо-

логічному розкладенні соломи, для чого вносять 8–10 кг діючої речовини азоту на 1 т післяжнивних решток. В умовах Лівобережного Лісостепу України внесення соломи у дозі 2,4–2,5 т/га с.з. площі з унесенням мінерального азоту в дозі 24–25 кг д. р. на 1 га + оптимальну дозу мінеральних добрив ($N_{65-70}P_{65-70}K_{65-70}$) не поступається за ефективністю внесенню 10–12 т/га гною на фоні аналогічної дози мінеральних добрив. Унесення соломи більш ефективно проявляє свою дію коли виконується система обробітку чорнозему, в основі якої лежить систематичний безполицевий обробіток з поверхневою заробкою пожнивних, кореневих решток і соломи.

Інтенсивний обробіток чорноземів в агроценозах сприяє збільшенню відносного вмісту активних форм колоїдного гумусу: відбувається біологічна трансформація частини пасивного гумусу в активну форму. В умовах безполицевого обробітку підвищення активних форм гумусу відбувається за рахунок синтезу свіжої органічної речовини у верхній частині гумусового горизонту (шар 0–20 см) чорнозему. Частка новоутвореного гумусу в загальній кількості активної форми колоїдного гумусу, у першому наближенні, становить 65–70 %, а за оранки не більше 30 %. Позитивний вплив органічної речовини чорнозему на стабільність агроценозів зумовлюється активним метаболізмом ґрунтового різноманіття, включаючи ґрунтовідновну активність культур сівозміни впродовж теплого періоду року, що досягається в умовах систематичного застосування ґрунтозахисних технологій з мінімалізацією основного обробітку до 5–12 см. Обробіток ґрунту є вагомим фактором впливу на чисельність еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів. Застосування безполицевого обробітку сприяє зменшенню процесів мінералізації, підсиленню гумусонакопичення, покращенню забезпеченості рослин рухомими формами фосфору та мінеральними сполуками азоту.

ЯКІСТЬ І ДИНАМІКА ВУГЛЕЦЮ ГУМУСУ ЗАЛЕЖНО ВІД ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

3.1. Груповий та фракційний склад гумусу чорнозему за різних способів обробітку

Процеси дегуміфікації широко охопили екологічно стійкі та надзвичайно цінні в сільськогосподарському виробництві чорноземи типові малогумусні Лівобережного Лісостепу України [69]. Практика показує, що лише ґрунтозахисний обробіток чорноземів створює сприятливіші умови для гуміфікації органічних добрив порівняно з оранкою і найбільшою мірою сприяє стабілізації продуктивності агроценозів [278, 305, 311, 440, 441, 442].

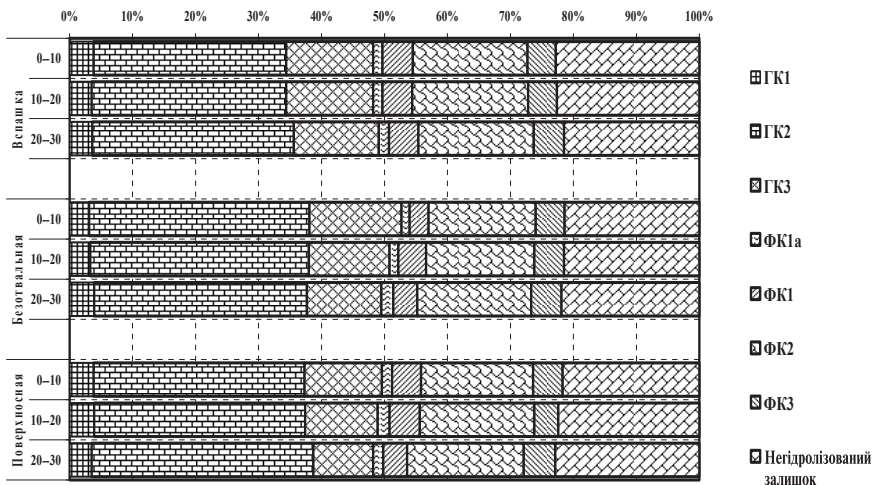


Рис. 3.1. Довгостроковий вплив різних способів обробітку чорнозему типового мало-гумусного на груповий та фракційний стани гумусу

Довготривале застосування безполицевого обробітку найбільшою мірою призводить до підвищення співвідношення $C_{гк} : C_{фк}$, що зумовлено застосуванням органічних добрив і зростанням гуміфікації рослинних решток побічної продукції. Так, у 0–20 см шарі ґрунту за безполицевого обробітку співвідношення зросло на 110–112 %, а за поверхневого обробітку — на 105 %. За даними П.І. Бойко [42] у 1994 році співвідношення $C_{гк}$ до $C_{фк}$ у 0–20 см шарі ґрунту за оранки становило 1,18–1,24, за безполицевого обробітку — 1,18–1,32, а за поверхневого — 1,15–1,28 та 1,21, 1,27, 1,22 відповідно до обробітків для 0–30 см шару ґрунту. У 2010 році співвідношення $C_{гк}$ до $C_{фк}$ зросло: за оранки в 1,37; за безполицевого обробітку — в 1,43; за поверхневого обробітку — у 1,41 рази, що свідчить про формування кращих умов гуміфікації за безполицевих обробітків.

Довгострокове застосування різних систем обробітку чорнозему типового призводить до зміни не тільки умісту загального гумусу, а і його якісного складу. Оцінка вмісту лабільного біоактивного гумусу фракцій ФК-1а, ФК-1, ГК-1 показала, що під впливом систематичного безполицевого обробітку в 0–30 см шарі ґрунту їх утворилося менше на 113 % порівняно з оранкою та поверхневим обробітком. Уміст фракцій стабільного біоактивного гумусу (ГК-2, ФК-2) під впливом безполицевого та поверхневого обробітків зріс на 104–106 %, а у шарі ґрунту 20–30 см за поверхневого обробітку на 106 %. За безполицевого та поверхневого обробітків уміст фракцій стабільного біоактивного гумусу перевищував 50 %, тоді як за оранки він був меншим за 50 % (рис. 3.1).

За систематичної оранки в 0–30 см шарі ґрунту значення P_g було в 1,19 за безполицевого та в 1,09 рази вищим за поверхневого обробітку. Пошарова оцінка показала, що в 0–10 см шарі ґрунту величина P_g за оранки була в 1,4 рази, у шарі ґрунту 10–20 см — у 1,18 рази вищою порівняно з систематичним безполицевим обробітком, а порівняно з поверхневим обробітком у шарі ґрунту 20–30 см у 1,19 рази. Показник відносної рухомості гумусу (P_g) засвідчує, що за глибокого безполицевого обробітку відбувається процес залучення фракцій лабільного біоактивного гумусу у фракції стабільного біоактивного гумусу найбільш інтенсивно порівняно з оранкою. За поверхневого обробітку зазначені процеси послаблюються в 0–20 см, а в шарі ґрунту 20–30 см набувають того рівня, як і за безполицевого обробітку (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Довгостроковий вплив різних способів обробітку на гумусовий стан 0–30 см шару чорнозему типового малогумусного

Потужність шару ґрунту, см	N _{заг.}	C _{орг.}	Гумус, %	Пг*	Сг.к.:С _{ф.к}
<i>Оранка</i>					
0–10	0,21	2,22	3,82	0,21	1,66
10–20	0,21	2,09	3,60	0,19	1,65
20–30	0,20	1,96	3,38	0,19	1,68
<i>Безполицевий обробіток</i>					
0–10	0,23	2,39	4,12	0,15	1,86
10–20	0,22	2,26	3,90	0,19	1,73
20–30	0,22	2,15	3,71	0,18	1,83
<i>Поверхневий обробіток</i>					
0–10	0,23	2,35	4,04	0,19	1,73
10–20	0,21	2,09	3,60	0,20	1,71
20–30	0,19	1,92	3,31	0,17	1,67

* Відносна рухомість гумусових речовин.

За систематичного виконання безполицевого обробітку найвищий уміст фракцій ГК3 гумусу виявлено в 0–10 см шарі ґрунту, тоді як з глибиною уміст ГК-3 знижувався і був меншим порівняно з оранкою. Незалежно від способу обробітку чорнозему нерозчинний залишок становив 21,6–22,3 %. Слабка тенденція до зниження його умісту була за безполицевого обробітку (21,4–21,9 %) у 0–30 см шарі ґрунту, 21,5 і 21,7 % у шарі ґрунту 20–30 см за оранки та в 0–10 см шарі ґрунту за поверхневого обробітку відповідно. Зазначені зміни свідчать, що за безполицевого обробітку лабільний біоактивний гумус більш інтенсивно залучається до складу фракцій стабільного біоактивного гумусу. При цьому відбувається диференціація оброблюваного шару чорнозему за вмістом ГК-3. Довгострокове застосування поверхневого обробітку суттєво вплинуло на вміст фракцій відносно біоінертного гумусу (ГК-3). Так, у 0–30 см шарі ґрунту вміст зазначеної фракції був меншим у 1,23 раза відносно оранки та у 1,18 раза порівняно з безполицевим обробітком.

За безполицевого обробітку між співвідношенням $C_{гк}$ до $C_{фк}$ та вмістом гумусу виявлено прямий кореляційний зв'язок ($R=0,62-0,67\pm 0,03$), а з вмістом загального азоту він був на рівні прямої сильної кореля-

ції ($R=0,59\pm0,02$). За систематичної оранки кореляційний зв'язок набував оберненої сильної кореляції. Між показниками відносної рухомості гумусу (Пг) та умістом загального азоту, $C_{\text{фг}}$ та умістом гумусу виявлено обернений зв'язок на рівні сильної кореляції за умови виконання безполицевого обробітку, а за оранки та поверхневого обробітку зв'язок був прямим.

За безполицевого обробітку в 0–20 см шарі ґрунту біогенність була найвищою порівняно з оранкою та поверхневим обробітком. Подальші дослідження засвідчили, що між умістом гумусу та рівнем біогенності виявлено пряму сильну кореляцію ($R=+0,82\pm0,03$; $R^2=0,67$). Саме це пояснює найвищий уміст гумусу в 0–20 см шарі ґрунту за безполицевого обробітку: 3,92 %, що вище ніж за оранки на 0,07 %, а за поверхневого обробітку — на 0,03 %.

Виявлено, що між рівнем біогенності 0–20 см шару чорнозему та глибиною гуміфікації ($C_{\text{гк}}:C_{\text{фк}}$) виявлено пряму сильну кореляцію ($R=0,88\pm0,03$, $R^2=0,77$), що пояснює збагачення гумусом та зміну глибини гуміфікації за безполицевого обробітку порівняно з оранкою та безполицевим обробітком. Між фракціями стабільного біоактивного гумусу та біогенністю виявлено прямий кореляційний зв'язок ($R=0,81\pm0,03$), з показником відносної рухомості зв'язок сильний обернений ($R=-0,93\pm0,03$). Глибина гуміфікації пов'язана з кількістю мікроорганізмів деструкторів органічних сполук азоту ($R=-0,97\pm0,03$) і мікроорганізмів асиміляторів мінеральних сполук азоту ($R=0,98\pm0,01$) та умістом сполук азоту, що легко гідролізуються ($R=0,95\pm0,02$). Виявлено, що за безполицевого обробітку найкращими показники фосфатмобілізувальних та азотзабезпечувальних властивостей 0–20 см шару визначалися підвищеними показниками глибини гуміфікації органічної речовини гумусу.

Якісно вирізненими є 0–10 см шар ґрунту за безполицевого обробітку та шар ґрунту 20–30 см за поверхневого обробітку, що пов'язано з специфічними умовами біогенності та спрямованістю гумусонакопичення. У цілому стан 0–30 см шару ґрунту за показниками якісного і кількісного складу гумусу та біогенністю залежав від способу обробітку: на дендрограмі подібності якісний стан гумусового горизонту пов'язаний мірою подібності на рівні 65 %, а пов'язувався між собою віддаленістю подібності на рівні 90–92 %.

За безполицевого обробітку запас енергії гумусу в 0–30 см шарі ґрунту відносно оранки зріс до 124 %, а за поверхневого обробітку —

до 110 %; у шарі ґрунту 0–10 см відбулося зростання запасу енергії гумусу до 143 % за безполицевого, а за поверхневого обробітку — до 129 %; у шарі ґрунту 10–30 см запас енергії зріс до 116 % за безполицевого і до 102 % — за поверхневого обробітку (табл. 3.2).

Отже, застосування безполицевого обробітку призводить до підвищення співвідношення $C_{\text{тк}} : C_{\text{фк}}$ у 0–20 см шарі ґрунту, що зумовлено зростанням гуміфікації рослинних решток побічної продукції: співвідношення зросло до 110–112 %, а за поверхневого обробітку — до 105 %. При цьому уміст фракцій стабільного біоактивного гумусу перевищував 50 %, тоді як за оранки вміст був меншим за 50 %. Показник відносної рухомості гумусу (Пг) засвідчує, що за глибокого безполицевого обробітку відбувається процес залучення фракцій лабільного біоактивного гумусу у фракції стабільного біоактивного гумусу порівняно з оранкою. За безполицевого обробітку запас енергії гумусу в 0–30 см шарі ґрунту відносно оранки зріс до 124 %, а за поверхневого обробітку — до 110 %. У шарі ґрунту 0–10 см відбулося зростання запасу енергії гумусу збільшилося на 143 % за безполицевого та на 129 % за поверхневого обробітку.

Таблиця 3.2. Довгостроковий вплив різних способів обробітку на запас енергії гумусу в 0–30 см шарі чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового

Потужність шару ґрунту, см	Запас енергії гумусу, млн ккал/га	Перерозподіл у межах 0–30 см шару ґрунту, %	Приріст відносно оранки, %
<i>Оранка</i>			
0–10	32,8·10 ³	30,7	100
10–30	74,2·10 ³	69,3	100
0–30	107·10 ³	100	100
<i>Безполицевий обробіток</i>			
0–10	46,8·10 ³	35,4	143
10–30	86,0·10 ³	64,6	116
0–30	132,8·10 ³	100	124
<i>Поверхневий обробіток</i>			
0–10	42,2·10 ³	35,8	129
10–30	75,6·10 ³	64,2	102
0–30	117,8·10 ³	100	110

3.2. Структура запасів органічного вуглецю групового та фракційного складу гумусу

Довгострокове виконання різних способів обробітку вплинуло на загальний запас органічного вуглецю ($C_{орг.}$) у 0–30 см шарі чорнозему. Найвищим він виявився за безполіцевого обробітку — 83,0 т/га. За оранки запас був нижчим на 3,4 т/га, а за поверхневого обробітку — на 6,4 т/га ($НІР_{0,05}=3,1$ т/га).

За безполіцевого та поверхневого обробітків у шарі ґрунту 0–10 см зосереджувалося 34,0 і 36,4 % від загального запасу органічного вуглецю, а з глибиною запаси вуглецю знижувалися до 30 % за поверхневого обробітку, тоді як за оранки запаси органічного вуглецю були більш вирівняними по всьому орному шару чорнозему (рис. 3.2). Загальний запас $C_{орг.}$ гумінових кислот (ГК) у 0–30 см шарі чорнозему найви-

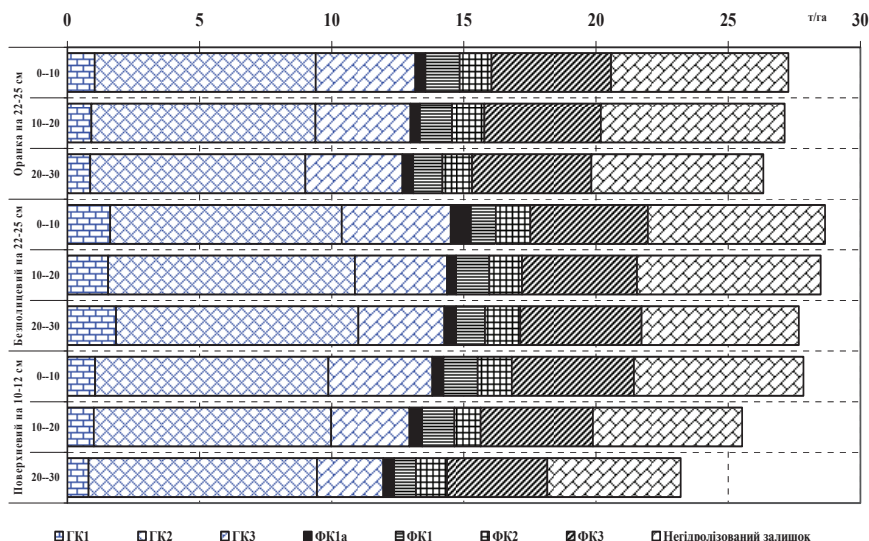


Рис. 3.2. Довгостроковий вплив різних способів обробітку запас $C_{орг.}$ у різних фракціях гумусу чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового Лівобережного Лісостепу України*

* Демиденко О.В. Гумусний стан чорнозему типового за різних способів обробітку в агроценозах Лівобережного Лісостепу [О.В. Демиденко, І.С. Шаповал, О.Л. Тонха, В.А. Величко, П.І. Бойко] // Вісник аграрної науки. — 2014. — №4. — С.58–63.

шим виявився за глибокого безполицевого обробітку (43,4 т/га), тоді як за оранки і поверхневого обробітку він знижувався у 1,08–1,10 раза. Найбільше органічного вуглецю гумінових кислот містилося у 0–10 см шарі чорнозему за безполицевого обробітку (15,2 т/га).

За оранки запас $C_{\text{орг.}}$ гумінових речовин знижувався у 1,15 раза, за поверхневого обробітку — у 1,10 раза. Запас $C_{\text{орг.}}$ фульвокислот (ФК) у 0–30 см шарі чорнозему за безполицевого обробітку сягав 22,1 т/га, а за оранки та поверхневого обробітку мав тенденцію до зниження: 20,9 т/га ($\text{НІР}_{0,05}=1,12$ т/га). У цілому запас органічного вуглецю ГК та ФК найвищим у 0–30 см шарі чорнозему був за безполицевого обробітку (64,5 т/га). За оранки та поверхневого обробітку запас був нижчим у 1,08–1,10 раза, що слід розцінювати як стійку тенденцію (на рівні достовірності) до зменшення.

Розрахунок запасу $C_{\text{орг.}}$ найбільш активної частки гумусу (ГК1 + ФК(1+1a)) показав, що у 0–30 см шарі ґрунту за безполицевого обробітку накопичується 7,76 т/га. Більш активно органічний вуглець зазначених фракцій за оранки накопичується у шарі чорнозему 10–30 см, тоді як за поверхневого обробітку у шарі ґрунту 0–20 см: у першому випадку — 5,10 т/га та 5,28 т/га — у другому. За поверхневого обробітку у шарі ґрунту 20–30 см уміст $C_{\text{орг.}}$ активних фракцій гумусу виявився найменшим: 2,05 т/га, що менше у 1,28 раза порівняно з безполицевим обробітком та у 1,17 раза порівняно з оранкою.

Запас $C_{\text{орг.}}$ активної частини гумусу відносно його загального запасу за оранки становив 9,33–9,94 %, за безполицевого обробітку — 8,95–10,94 %, за поверхневого — 9,03–9,91 %, а від загального запасу органічного вуглецю в ГК і ФК за безполицевого обробітку знижувався у 0–20 см шарі чорнозему до 11,5–11,6 %, а у 0–30 см шарі становив 11,8 %, тоді як за поверхневого обробітку й оранки запас органічного вуглецю активних фракцій зростав у 1,05–1,06 раза. У 0–30 см шарі ґрунту запас $C_{\text{орг.}}$ досягав значень 12,35–12,45 %. Зазначені зміни пов'язані з формуванням запасу $C_{\text{орг.}}$ гумусу негидролізованого залишку, якого за безполицевого обробітку накопичувалося найбільше (19,32 т/га), тоді як за оранки та поверхневого обробітку запас цієї фракції знижувався на 1,41 і 1,98 т/га відповідно. За безполицевого обробітку запас органічного вуглецю нерозчинного залишку найбільшим був у шарі ґрунту 20–30 см, тоді як за поверхневого обробітку у шарі ґрунту 0–10 см.

Показники гумусного стану (ПГС): співвідношення запасів $C_{\text{орг.}}$ ГК до запасу $C_{\text{орг.}}$ ФК, відображають біокліматичні умови накопичення органічного вуглецю за різних способів обробітку чорнозему типового. Виявлено, що в 0–30 см шарі чорнозему незалежно від способу обробітку формується фульватно-гуматний тип гумусу: ПГС=1,85 до 1. За оранки ПГС=1,91 до 1, тоді як за безполицевих обробітків ПГС=1,85–1,86 до 1, що пов'язано з наростанням аридності ґрунтових умов за систематичного виконання оранки. За безполицевих обробітків ПГС>1,9 до 1 спостерігалось у шарі ґрунту 10–20 см за глибокого та у шарі ґрунту 20–30 см за безполицевого мілкового обробітку.

Виявлено, що спосіб обробітку ґрунту суттєво не вплинув на ступінь гуміфікації органічної речовини (запас $C_{\text{орг.}}$ ГК до запасу гумусу органічного вуглецю органічної речовини, СГ): незалежно від обробітку СГ набувала високих значень (СГ>40 %) в оброблюваному шарі чорнозему (0–30 см). За оранки СГ=49,5 %, за безполицевого обробітку СГ=51 %, за поверхневого обробітку СГ=52 %.

Частка органічного вуглецю ГК пов'язаних з кальцієм у сумі органічного вуглецю ГК незалежно від обробітку ґрунту мала дуже велике значення (>80 %): за оранки — 92–93 %; за безполицевого обробітку — 92–94 %; за поверхневого обробітку — 92–93 %. Запас органічного вуглецю міцнозв'язаних гумінових кислот до запасу $C_{\text{орг.}}$ ГК у 0–30 см шарі ґрунту залежав від способу обробітку чорнозему: за оранки запас становив 26,9–28,7 % від загального запасу органічного вуглецю ГК, тоді як за безполицевого обробітку — 25,6 %, а за поверхневого обробітку — 24,4 %. З глибиною відсоток запасу органічного вуглецю міцнозв'язаних ГК знижувався від 28,5–29,1 % на глибині 20–30 см, тобто виникала з мінімалізацією обробітку достатньо виражена диференціація.

Частка запасу органічного вуглецю GK_1 у загальному запасі вуглецю ГК за безполицевого та поверхневого обробітків у 0–30 см шарі чорнозему становила 6,7–7,9 %, а за оранки — 7,0–7,8 %. За поверхневого обробітку зростає запас вуглецю GK_1 у поверхневих (0–20 см), а за безполицевого обробітку у більш глибоких (20–30 см) шарах чорнозему. За оранки запас органічного вуглецю вирівняний по всіх шарах оброблюваного шару чорнозему. Розрахунок показника відносної рухомості запасів органічного вуглецю (ПГ, %), як співвідношення запасу вуглецю $GK_1 + \Phi K_{(1+1a)}$ до запасу вуглецю $GK_2 + \Phi K_2$, показав, що за оранки у 0–30 см шарі сягає значень: ПГ=26,79 %, тоді як

за безполицевого ПГ=25,89 %. Виявлено, що за безполицевого та поверхневого обробітків найвищий показник відносної рухомості органічного вуглецю у шарі ґрунту 0–10 см (ПГ=26,35 % та ПГ=27,3 %), а з глибиною значення знижується до ПГ=23,5–24,8 % за безполицевого та до ПГ=20,8 % за поверхневого обробітку. За оранки відносна рухомість органічного вуглецю вирівняна по всьому оброблюваному шару чорнозему.

За коефіцієнтами мінералізації ГК ($K_r=0,1972-0,1979$) та ФК ($K_r=0,104-0,1337$) проведено розрахунок маси органічного вуглецю, яка здатна до мінералізації за різних способів обробітку чорнозему. Виявлено, що незалежно від способу обробітку у 0–30 см шарі ґрунту здатна до мінералізації майже однакова маса органічного вуглецю ГК (2,08–2,021 т/га). Проте спосіб обробітку чорнозему певною мірою впливав на масу $C_{\text{орг}}$. ФК: найменше її мінералізувалося за поверхневого обробітку (2,69 т/га), тоді як за оранки маса органічного вуглецю, яка здатна до мінералізації ФК зросла у 1,10 рази.

У цілому маса $C_{\text{орг}}$ ГК і ФК, яка здатна мінералізуватися незалежно від способу обробітку була практично однаковою: 4,79–5,08 т/га, а у перерахунку на гумус — 8,25–8,75 т/га. У 0–10 см шарі чорнозему найактивніше мінералізується $C_{\text{орг}}$ ГК: 59,4–61,0 % від загальної кількості органічного вуглецю, здатного до мінералізації. З глибиною мінералізація $C_{\text{орг}}$ гумінових кислот знижується: 27,5–30,6 % за оранки, 30,4–31,4 % — за безполицевого обробітку, 30,0–32,0 % — за поверхневого обробітку, що пов'язано з високою стійкістю ГК до мінералізації.

Навпаки, маса $C_{\text{орг}}$ ФК, яка здатна до мінералізації, з глибиною зростає, тоді як у 0–10 см шарі ґрунту знижується в оберненій залежності до характеру мінералізації вуглецю ГК. При цьому найнижчих значень набуває за глибокого безполицевого обробітку, що прямо слід пов'язувати зі зростанням загального запасу $C_{\text{орг}}$ гумусу в 0–30 см шарі чорнозему.

У кількісному виразі за безполицевого обробітку у 0–30 см шарі чорнозему мінералізується 2,21 т/га $C_{\text{орг}}$ гумінових кислот та 2,87 т/га $C_{\text{орг}}$ фульвокислот; за оранки — 2,08 та 2,95 т/га. Незважаючи на це за безполицевого обробітку інтенсивність гуміфікації у 0–20 см шарі чорнозему залишається найвищою, що більше оранки та за поверхневого обробітку близько 3 %. У цілому в оброблюваному шарі чорнозему найвищий рівень гуміфікації виявлено за систематичної

Таблиця 3.3. Уплив способів обробітку на інтенсивність гуміфікації $C_{\text{орг}}$ рослинних решток на фоні $N_{60}P_{88}K_{100} + 6-7$ т/га побічної продукції

Глибина, см	Способи обробітку		
	Оранка на 20-22 см	Безполицевий обробіток на	
		22-25 см	10-12 см
0-10	0,168	0,216	0,177
10-20	0,191	0,165	0,145
20-30	0,183	0,133	0,123
0-30	0,181	0,171	0,148

оранки та безполицевого обробітку, тоді як за поверхневого обробітку інтенсивність гуміфікації знижується у 1,20–1,22 раза (табл. 3.3).

Найвища інтенсивність гуміфікації рослинних решток у 0–10 см шарі чорнозему була за безполицевого обробітку, тоді як за оранки вона знижувалася у 1,29 раза, а за поверхневого обробітку — у 1,22 раза. Виявлено, що за безполицевого обробітку інтенсивність гуміфікації знижується меншою мірою і значно більшою мірою за поверхневого обробітку, а за оранки, навпаки, з глибиною інтенсивність гуміфікації зростає у 1,38 та 1,49 раза відповідно до безполицевого і поверхневого обробітків. Причиною є локалізація поживних решток, побічної продукції за виконання безполицевого обробітку (шар 0–20 см) та оранки у шар 20–30 см.

Використовуючи дані по запасах $C_{\text{орг}}$ у гумусі та складових групового і фракційного складів гумусу проведено структурний аналіз запасів енергії гумусу та його компонентів за різних способів обробітку чорнозему (рис. 3.3). Встановлено, що за безполицевого обробітку суттєво зростає запас енергії у найбільш сталих фракціях ($GK_{(2+3)} + FK_{(2+3)}$) гумусу: порівняно з оранкою (у 0–30 см шарі ґрунту) запас енергії органічного вуглецю зріс на 8 %. За рахунок $C_{\text{орг}}$ фракцій $FK_{(2+3)}$ на 5,1 %, а фракцій $GK_{(2+3)}$ — на 2,6 %. Збагачення 0–30 см шару ґрунту енергією $C_{\text{орг}}$ зазначених фракцій за безполицевого обробітку відбувається за рахунок збагачення енергією верхньої частини оброблюваного шару чорнозему: запас енергії зростає відносно оранки у 1,17 раза і становить близько 70 % від загального запасу у цьому

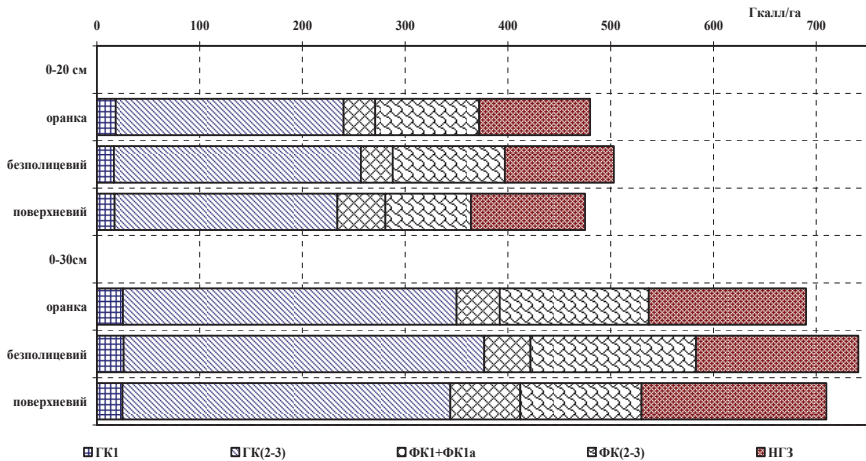


Рис. 3.3. Структура запасу енергії $C_{\text{орг.}}$ у складових групового і фракційного складу гумусу залежно від обробітку чорнозему типового малогумусного*

* Демиденко О.В. Гумусний стан чорнозему типового за різних способів обробітку в агроценозах Лівобережного Лісостепу [О.В. Демиденко, І.С. Шаповал, О.Л. Тонха, В.А. Величко, П.І. Бойко] // Вісник аграрної науки. — 2014. — №4. — С.58–63.

шарі, тоді як за оранки — 63,1 %. Зазначені процеси за поверхневого обробітку послаблюються, але значно вищі, ніж за оранки.

Запас енергії $C_{\text{орг.}}$ активних фракцій гумусу (ГК_1 , $\text{ФК}_{(1a+1)}$) у 0–30 см шарі ґрунту найвищим був за оранки, тоді як за безполицевого і поверхневого обробітків він знижувався у 1,31 і 1,38 раза відносно загального запасу енергії в 0–30 см шарі чорнозему: запас за оранки становив 13,1 % проти 9,6–9,8 % за безполицевих обробітків. Зростання запасу енергії органічного вуглецю у 0–20 см шарі чорнозему виявлено за оранки, а за безполицевих обробітків запас енергії знижувався у 1,35 і 1,31 раза, що свідчить про надмірну активізацію гумусу за систематичної оранки. За оранки запас енергії $C_{\text{орг.}}$ зростає у 1,51–1,62 раза порівняно з безполицевими обробітками. Запас енергії органічного вуглецю ГК_1 незалежно від способу обробітку залишається сталим. Запас енергії органічного вуглецю негідролізованого залишку у 0–30 см шарі чорнозему був вищим у 1,14–1,18 раза за оранки, а відносно загального запасу енергії $C_{\text{орг.}}$ за оранки становив 13,1 %, тоді як за безполицевих обробітків — 9,6–9,8 %.

Отже, за безполицевого обробітку оптимізується співвідношення інтенсивності мінералізації гумінових і фульвокислот з інтенсивністю гуміфікації $C_{\text{орг.}}$ побічної продукції, яка загортається у 0–20 см шар чорнозему, що позначається на зростанні загального запасу гумусу та покращенню групового і фракційного складу. За систематичної оранки процеси гумусонакопичення послаблюються за рахунок зниження інтенсивності гуміфікації, а за поверхневого обробітку проявляється консервуючий ефект процесів гумусонакопичення за рахунок зниження інтенсивності гуміфікації за критичні показники.

Співвідношення запасів енергії $C_{\text{орг.}}$ ГК до ФК у 0–30 см шарі чорнозему незалежно від обробітку становило 1,85–1,87 до 1, що свідчить про однотипність гумусонакопичення, але загальний запас енергії $C_{\text{орг.}}$ у 0–30 см шарі чорнозему був вищим за безполицевого обробітку ($+31 \cdot 10^3$ Гкал/га), а у верхній частині оброблюваного шару ґрунту — на $28 \cdot 10^3$ Гкал/га вищим відносно оранки. За поверхневого обробітку енергозбагачення було на рівні оранки.

За систематичного виконання безполицевого обробітку на фоні зростання загального запасу енергії $C_{\text{орг.}}$ в оброблюваному шарі чорнозему типового відбувається якісна структуризація запасів енергії у складових групового і фракційного запасу енергії, яка спрямована на стабілізацію процесів, спрямованих на мінералізацію, гуміфікацію та гумусонакопичення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

3.3. Вплив обробітку та системи удобрення на колообіг органічного вуглецю в агроценозах

Колообіг органічного вуглецю ($C_{\text{орг.(a)}}$) в агроценозах вивчено залежно від типу сівозміни, різних доз мінеральних та видів органічних добрив при різних способах основного обробітку у довгостроковому виконанні. Баланс $C_{\text{орг.(a)}}$ в сівозмінах різного типу, за різних способів обробітку та систем удобрення оцінено за 14 показниками, що зазначено у таблицях. За період внесення гною (6 т/га) та систематичного виконання оранки з вилученням побічної продукції на контролі без унесення мінеральних добрив у сівозміні з багаторічними травами у колообіг залучалося 43,1 т $C_{\text{орг.(a)}}$ щорічно, а за безполицевого обробітку на 3,4 т менше. Аналогічна закономірність виявлена у сівозміні з горохом, але на нижчому кількісному рівні: за оранки у колообіг залучалось 31,4 т $C_{\text{орг.(a)}}$, а за безполицевого обробітку на 3,9 т менше. В

урожаї за оранки містилося 22 % та 28 % $C_{\text{орг.}(y)}$ відповідно до сівозмін з травами та горохом. За безполицевого обробітку у період внесення гною в урожаї містилося 25 % (сівозміна з травами) та 30 % (сівозміна з горохом) $C_{\text{орг.}(y)}$, а на побічну продукцію приходилося 33 і 34 % та 49 і 33 % відповідно до типу сівозміни і способу обробітку ґрунту. Уміст $C_{\text{орг.}(y)}$ у коренях і пожнивних рештках вищим був у сівозміні з травами: 19,6 тонн за оранки та 11,5 тонн за безполицевого обробітку.

Втрати $C_{\text{орг.}(m)}$ від мінералізації побічної продукції, пожнивних і кореневих решток були вищими у сівозміні з багаторічними травами (9,4—14,7 т), а у сівозміні з горохом знижувалися у 1,28 і 2,2 раза відповідно до оранки та безполицевого обробітку. Маса $C_{\text{орг.}(r)}$, яка переходила в гумус у сівозміні з травами була вищою у 1,65 раза за оранки та у 1,81 раза за безполицевого обробітку, а загальне вилучення $C_{\text{орг.}}$ з агроценозу було вищим у 1,27 і 1,41 раза відповідно за оранки та безполицевого обробітку. Загальний баланс $C_{\text{орг.}(Ba)}$ в агроценозах незалежно від типу сівозміни і обробітку був від'ємним.

Баланс $C_{\text{орг.}}$ гумусу за безполицевого обробітку був додатним, зростаючи у сівозміні з горохом у 42 рази, тоді як за оранки баланс $C_{\text{орг.}}$ набував від'ємного значення незалежно від типу сівозміни.

У період, коли вся побічна продукція залишалася на місці вирощування на контролі без внесення добрив маса $C_{\text{орг.}}$ в агроценозі була вищою у 1,24 раза за систематичного виконання безполицевого обробітку, тоді як у сівозміні з горохом навпаки: уміст $C_{\text{орг.}}$ зменшувався у 1,10 раза відносно виконання оранки.

Суттєво вищим уміст $C_{\text{орг.}}$ виявився в урожаї у сівозміні з травами як відносно періоду, коли вносили гній, так і порівняно з сівозміною з горохом: 1,78—2,00 та 2,31—2,53 раза. За безполицевого обробітку в урожаї закріплювалося $C_{\text{орг.}}$ більше, ніж за систематичної оранки.

Загальне зростання продуктивності за виходом кормових одиниць (тонн к.о) у період внесення в якості добрив побічної продукції сприяло збільшенню маси $C_{\text{орг.}}$ у побічній продукції ($C_{\text{орг.}(п/п)}$) у сівозміні з травами у 1,96 і 1,70 раза, а у сівозміні з горохом у 2,62 і 3,14 раза відповідно до обробітків. Відповідно зростала маса $C_{\text{орг.}}$ від мінералізації, але у сівозміні з горохом вилучення $C_{\text{орг.}}$ за рахунок мінералізації був найвищим.

Закріплювалося $C_{\text{орг.}(п/п)}$ більше у сівозміні з горохом як відносно періоду з вилученням побічної продукції, так і у сівозміні з багаторічними травами.

Таблиця 3.4. Кооплобiг $C_{орг}$ у агроценозi 5-пiльної сiвозмiни з багаторiчними травами для умов Лiвобережного Лiсостепу України

Дози добрив	Маса $C_{орг}$, т					Баланс Сорг, т/га ($\pm$)	
	в агроценозi	в урожаї	в побiчній продукцiї	вiд мiне-ралiзацiї решток, $C_{ср2}$	гумусу	в агроценозi	в ґрунті
	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_9	X_{10}
<i>Оранка — 6 т/га гною</i>							
Без добрив	43,1	9,31	14,1	9,4	5,36	-37,6	-2,73
$N_{31}P_{31}K_{41}$	58,6	21,7	22,7	15,6	7,33	-37,3	-0,11
$N_{62}P_{62}K_{48}$	57,5	24,2	25,2	18,8	8,38	-43,0	+1,99
<i>Безполiцевий — 6 т/га гною</i>							
Без добрив	39,7	9,82	16,4	14,7	6,13	-35,0	+0,13
$N_{31}P_{31}K_{41}$	54,1	23,3	19,0	12,6	8,11	-39,8	+1,15
$N_{62}P_{62}K_{48}$	54,0	24,9	18,4	12,2	8,15	-36,9	+0,38
<i>Оранка — 6 т/га побiчної продукцiї</i>							
Без добрив	34,3	16,61	27,7	15,0	6,61	-31,2	+2,54
$N_{31}P_{31}K_{41}$	53,3	20,6	32,7	26,7	7,83	-47,0	+0,67
$N_{62}P_{62}K_{48}$	60,8	23,8	37,0	30,2	8,92	-54,0	+0,36
<i>Безполiцевий — 6 т/га побiчної продукцiї</i>							
Без добрив	42,6	19,6	33,0	21,3	9,0	-40,9	+5,24
$N_{31}P_{31}K_{41}$	54,9	22,9	32,1	28,4	8,62	-51,4	+0,48
$N_{62}P_{62}K_{48}$	53,2	22,3	34,5	27,6	9,35	-49,5	+0,58

Таблиця 3.5. Коолообіг $C_{орг.}$ у агроценозах 5-пільних сівозмін для умов Лівобережного Лісостепу України

Дози добрив	Маса $C_{орг.}$, т					Баланс Сорг, т/га ($\pm$)	
	в агроценозі	в урожаї	в побічній продукції	від мінералізації решток, C_{CO_2}	гумусу	в агроценозі	в ґрунті
	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_9	X_{10}
<i>Оранка — 6 т/га гною (сівозмінна — з травами)</i>							
Без добрив	31,4	8,70	10,6	7,32	3,25	-40,9	-5,83
$N_{31}P_{31}K_{41}$	41,6	9,72	13,0	9,77	5,21	-51,4	-5,94
$N_{62}P_{62}K_{48}$	39,2	10,5	13,3	10,2	5,93	-49,5	-5,35
<i>Безпліцевий — 6 т/га гною</i>							
Без добрив	27,5	8,12	9,19	6,69	3,39	-24,9	+5,51
$N_{31}P_{31}K_{41}$	34,5	9,22	11,8	8,87	5,81	-31,8	-3,94
$N_{62}P_{62}K_{48}$	35,0	8,79	12,7	10,1	5,64	-32,4	-4,61
<i>Оранка — 6 т/га соломи (сівозмінна — з горохом)</i>							
Без добрив	39,9	7,2	28,6	22,4	7,01	-29,6	+0,65
$N_{31}P_{31}K_{41}$	58,8	11,0	47,8	26,0	11,0	-50,5	+3,23
$N_{62}P_{62}K_{48}$	54,6	11,5	46,4	36,0	10,9	-49,5	+1,07
<i>Безпліцевий — 6 т/га соломи</i>							
Без добрив	36,6	7,74	28,9	23,2	6,07	-30,9	+1,76
$N_{31}P_{31}K_{41}$	53,4	10,6	42,8	33,9	12,1	-44,5	+5,03
$N_{62}P_{62}K_{48}$	55,4	11,0	44,4	34,9	12,3	-45,9	+4,58

Таблиця 3.6. Коопобіг $C_{орг.}$ у агроценозах 5-пільних сівозмін для умов Лівобережного Лісостепу України

Дози добрив	Продуктивність, к.о., т	Маса побічної продукції залишена, т	Виділено CO_2 від мінералізації, т/рік	Інтенсивність балансу, $C_{орг.}$ %	
				агроценозу	ґрунту
	X_1	X_2	X_{12}	X_{13}	X_{14}
<i>Оранка — 6 т/га гною (сівозмінна — трави)</i>					
Без добрив	24,3	30,4	51,0	18,0	94,0
$N_{31}P_{31}K_{41}$	33,0	46,8	57,2	65,0	95,0
$N_{62}P_{62}K_{48}$	36,6	56,2	69,0	86,0	105
<i>Безполицевий — 6 т/га гною (сівозмінна — трави)</i>					
Без добрив	24,6	43,2	54,0	18,0	113
$N_{31}P_{31}K_{41}$	46,4	42,0	46,3	84,0	108
$N_{62}P_{62}K_{48}$	38,0	41,0	45,4	84,3	107
<i>Оранка — 6 т/га соломи (сівозмінна — трави)</i>					
Без добрив	26,0	61,3	80,0	16,0	122
$N_{31}P_{31}K_{41}$	31,5	72,6	98,0	91,0	106
$N_{62}P_{62}K_{48}$	36,3	82,3	111	86,0	110
<i>Безполицевий — 6 т/га соломи (сівозмінна — трави)</i>					
Без добрив	22,1	68,4	103	17,0	114
$N_{31}P_{31}K_{41}$	32,8	72,6	93,0	92,0	103
$N_{62}P_{62}K_{48}$	35,5	78,0	100	84,0	104

Закінчення таблиці 3.6

Дози добрив	Продуктивність, к.о., т	Маса побічної продукції залишена, т	Виділено CO ₂ від мінералізації, т/рік	Інтенсивність балансу, С _{орг.} , %	
				агроценозу	ґрунту
	X ₁	X ₂	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
<i>Оранка — 6 т/га гною (сівозміна — горох)</i>					
Без добрив	24,9	29,5	27,0	12,0	47,3
N ₃₁ P ₃₁ K ₄₁	33,6	30,0	36,0	93,0	60,0
N ₆₂ P ₆₂ K ₄₈	35,0	30,0	37,3	91,2	60,0
<i>Безполицевий — 6 т/га гною (сівозміна — горох)</i>					
Без добрив	23,4	20,4	25,0	13,8	54,7
N ₃₁ P ₃₁ K ₄₁	32,0	27,1	32,7	92,3	70,0
N ₆₂ P ₆₂ K ₄₈	31,4	28,3	35,0	92,0	68,0
<i>Оранка — 6 т/га соломи (сівозміна — горох)</i>					
Без добрив	24,7	61,4	90,0	23,3	106
N ₃₁ P ₃₁ K ₄₁	38,2	106	145	87,0	113
N ₆₂ P ₆₂ K ₄₈	39,2	103	139	85,3	107
<i>Безполицевий — 6 т/га соломи (сівозміна — горох)</i>					
Без добрив	26,1	65,6	74,0	23,0	118
N ₃₁ P ₃₁ K ₄₁	36,9	96,0	131	83,3	130
N ₆₂ P ₆₂ K ₄₈	38,3	100	139	83,0	127

Згідно з визначеною закономірністю змінювалася маса вилученого $C_{\text{орг.}}$ з агроценозу. Баланс $C_{\text{орг.}}$ в агроценозі залишався від'ємним незалежно від типу сівозміни та способу обробітку ґрунту, але баланс $C_{\text{орг.}}$ гумусу набув додатних значень та був більш додатним у сівозміні з травами: відносно сівозміни з горохом був вищим у 3,91 раза (оранка) та 2,98 раза (безполицевий обробіток). За безполицевого обробітку баланс $C_{\text{орг.}}$ був вищим відносно оранки у 2,06–2,71 раза.

Внесення мінеральних добрив сприяє збільшенню маси $C_{\text{орг.}}$, що надходить до агроценозу: у період унесення гною у сівозміні з травами у 1,34–1,36 раза за оранки та у 1,58 раза за безполицевого обробітку. У сівозміні з горохом за внесення мінеральних добрив за агроценозу надходить менша кількість $C_{\text{орг.}}$ у 1,41–1,47 раза за оранки та у 1,54–1,57 раза за безполицевого обробітку, а відносно контролю без добрив $C_{\text{орг.}}$ зростає у 1,25–1,32 раза (оранка) та 1,25–1,27 раза (безполицевий обробіток). При заміні гною на побічну продукцію у сівозміні з травами загальна маса $C_{\text{орг.}}$ в агроценозі у сівозміні з травами за подвійної дози добрив зросла у 1,06 раза, а у сівозміні з горохом у 1,37–1,47 раза (оранка) та 1,46–1,51 раза (безполицевий обробіток) за рахунок зростання виходу $C_{\text{орг.}}$ побічної продукції кукурудзи.

Частка $C_{\text{орг.}}$ в урожаї від внесених мінеральних добрив у сівозміні з травами зростає за оранки та безполицевого обробітку у 2,33–2,60 раза при внесенні гною та у 1,14–1,43 раза при заміні гною на побічну продукцію. У сівозміні з горохом частка $C_{\text{орг.}}$ в урожаї була суттєво меншою порівняно з сівозміною з травами, а приріст від внесених добрив зростав відносно контролю без добрив за внесення гною у 1,12–1,21 раза за оранки та 1,08–1,14 раза за безполицевого обробітку. Заміна гною на побічну продукцію сприяла зростанню $C_{\text{орг.}}$ в урожаї у 1,54–1,62 раза за оранки та 1,37–1,42 раза за безполицевого обробітку.

Внесення мінеральних добрив вплинуло на вихід побічної продукції і, як наслідок, зростання маси $C_{\text{орг.}}$ у ній. У сівозміні з травами більш високе зростання маси $C_{\text{орг.}}$ було у період, коли в якості органічних добрив використовували побічну продукцію: зростання відносно періоду, коли вносили гній становило 144–147 % за оранки та 169–188 % за безполицевого обробітку. У сівозміні з горохом зростання маси $C_{\text{орг.}}$ у побічній продукції від мінеральних добрив було вищим у 3,49–3,61 раза за оранки та у 3,50–3,63 раза за безполицевого обробітку.

За внесення гною у сівозміні з травами $C_{\text{орг.}}$ було вищим порівняно з сівозміною з горохом у 1,75–1,89 раза за оранки та 1,45–1,61 раза за безполицевого обробітку. Заміна гною на побічну продукцію сприяла тому, що у побічній продукції була вища маса $C_{\text{орг.}}$ як у сівозміні з травами, так і у сівозміні з горохом. В останньому випадку маса $C_{\text{орг.}}$ досягла 46,3–47,8 т за оранки та 42,8–44,7 т за безполицевого обробітку.

Втрати $C_{\text{орг.}}$ від мінералізації побічної продукції зростали при заміні гною на побічну продукцію у сівозміні з травами 1,61–1,71 раза за оранки та у 2,25–2,28 раза за безполицевого обробітку, а у сівозміні з горохом у 2,66–3,53 раза та 3,46–3,82 раза відповідно, що пов'язано з надходженням побічної продукції за безполицевого обробітку. Залучення $C_{\text{орг.}}$ з побічної продукції у $C_{\text{орг.}}$ гумусу формувалося за аналогічною закономірністю. Якщо у сівозміні з травами зростання маси $C_{\text{орг.}}$ у гумусі при заміні гною на побічну продукцію зросло на 106–115 %, то у сівозміні з горохом на 184–211 % за оранки та на 206–218 % за безполицевого обробітку, що є найбільш ефективним і суттєво вплинуло на баланс $C_{\text{орг.}}$ гумусу. В останньому випадку баланс $C_{\text{орг.}}$ гумусу становив +4,58–5,03 т, що суттєво вище порівняно з аналогічними варіантами сівозмін і способів обробітку ґрунту, де баланс $B_{\text{орг.}}$ гумусу був дефіцитним.

Баланс ($B_{\text{орг.}}$), як різниця між надходженням $C_{\text{орг.(а)}}$ і закріпленням $C_{\text{орг.(а)}}$ гумусом, в агроценозах сівозмін за внесення мінеральних добрив був дефіцитним. Заміна гною на побічну продукцію в якості органічних добрив у сівозміні з травами зростала більш суттєво порівняно з сівозміною з горохом. У сівозміні з травами дефіцитність балансу $B_{\text{орг.}}$ за безполицевого обробітку зростає до 42,05–56,7 т на рік за подвійної дози мінеральних добрив, тоді як у сівозміні з горохом на одинарній дозі досягає 38,5–39,5 т $C_{\text{орг.}}$.

За оранки закономірність подібна, але на меншому кількісному рівні. При використанні різних систем удобрення з використанням гною або побічної продукції змінюється інтенсивність розкладу як самих добрив, так і органічної речовини ґрунту, за рахунок зростання чисельності пулу мікроорганізмів, збільшуючи активність викидів CO_2 до атмосфери.

Між складовими балансу $B_{\text{орг.}}$ в агроценозах виникають кореляційні зв'язки, які визначаються, більшою мірою, типом сівозміни та меншою — способом обробітку ґрунту. Між балансом $B_{\text{орг.}}$ в

агроценозах сівозмін, виходом к. о., побічної продукції у сівозміні з горохом виявлено обернену кореляцію: за внесення гною — середньому рівні ($R=-0,52-0,56\pm0,03$, $R^2=0,27-0,31$), а за внесення побічної продукції на рівні сильної кореляції ($R=-0,90-0,93\pm0,03$, $R^2=0,81-0,86$). Між масою $C_{\text{орг.}(CO_2)}$ та Ба за внесення гною зв'язок був оберненим на рівні $R=-0,67\pm0,03$, тоді як за внесення побічної продукції $R=-0,53\pm0,03$.

У сівозміні з травами лише за внесення побічної продукції між Ба $C_{\text{орг.}}$ та продуктивністю сівозміни виявлено обернений кореляційний зв'язок $R=-0,59\pm0,03$; $R^2=0,35$, а між Ба і $C_{\text{орг.}(CO_2)}$ — $R=-0,65\pm0,03$. Виявлено, що між виходом к.о. та виділеною вуглекислою від мінералізації гною та побічної продукції існує прямий кореляційний зв'язок. У сівозміні з горохом за внесення гною $R=-0,67-0,78\pm0,02$, а за внесення побічної продукції — $R=-0,87-0,91\pm0,03$. При включенні до сівозміни багаторічних трав, незалежно від виду добрив, зв'язок був на рівні прямої сильної кореляції. Уплив способу обробітку ґрунту на рівень продуктивності сівозмін, вихід побічної продукції та втрати $C_{\text{орг.}(CO_2)}$ був менш значним.

За умови оранки при внесенні гною зв'язок між Ба та $C_{\text{орг.}(CO_2)}$ був на рівні оберненої кореляції ($R=-0,66\pm0,03$), а за використання побічної продукції зв'язок підсилювався до $R=-0,87\pm0,03$. За систематичного виконання безполицевого обробітку при використанні гною Ба визначається більшою кількістю чинників, між якими виявлено обернений зв'язок. Між виходом к. о. та побічною продукцією і Ба $R=-0,58-0,69\pm0,03$, за використання побічної продукції — $R=-0,55-0,59\pm0,03$; з $C_{\text{орг.}(CO_2)}$ кореляція була на рівні $R=-0,56\pm0,03$ (за оранки) та $R=-0,46\pm0,02$ (за безполицевого обробітку).

За оранки при внесенні гною між продуктивністю сівозмін та масою CO_2 від мінералізації побічної продукції зв'язок був на рівні $R=0,66\pm0,02$, а за безполицевого обробітку $R=0,76\pm0,02$. При заміні гною на побічну продукцію зв'язок між зазначеними параметрами підсилюється до $R=0,90-0,91$ за оранки та до $R=0,84-0,89\pm0,03$ за безполицевого обробітку.

Викиди CO_2 від мінералізації надлишку побічної продукції при заміні гною на побічну продукцію зростають у сівозміні з горохом за систематичної оранки у 3,3–4,03 раза; у сівозміні з травами — у 1,57–1,72 раза. За виконання безполицевого обробітку у першому випадку викиди CO_2 зростають у 2,15–4,00 рази (оранка) та у 1,91–2,47

раза (безполицевий обробіток). При внесенні гною на 1 т виходу к. о. у сівозміні з горохом приходить 1,03–1,13 т CO_2 , а у сівозміні з травами викиди вуглекислоти зростають до 1,73–1,93 т CO_2 за оранки і знижуються до 1,00–1,18 т CO_2 за безполицевого обробітку.

За використання побічної продукції в якості органічних добрив викиди CO_2 від мінералізації надлишку побічної продукції зростають за оранки до 3,59–3,82 т (сівозміна з горохом) та до 2,13–2,89 т (сівозміна з травами). За безполицевого обробітку викиди CO_2 від мінералізації побічної продукції знижуються, залишаючись на тому рівні, як і за оранки.

За використання різних видів органічних добрив складові балансу $\text{C}_{\text{орг}}$ кластеризуються за мірою подібності по-різному. За систематичного внесення гною утворюється кластер на рівні меншому за 20 %, який включає 5 показників $\text{C}_{\text{орг}}$: в урожаї, CO_2 , побічний продукції, співвідношення $\text{C}_{\text{орг}}$ гумусу до $\text{C}_{\text{орг}}$ побічної продукції та Бг $\text{C}_{\text{орг}}$ у ґрунті. В окремий кластер поєднуються $\text{C}_{\text{орг}}$: к.о., вилучений з агроценозу, органічний вуглець в агроценозі, маса CO_2 та побічної продукції. Два сформовані кластери об'єднуються у більш генералізований на рівні 40 % міри подібності. Баланс органічного вуглецю в агроценозі та Іб органічного вуглецю у ґрунті та агроценозі є самостійними складовими у сукупності та кластеризуються за зростаючою мірою подібності: 70 %, 90 % та 100 %. При систематичному внесенні побічної продукції в якості органічних добрив кластеризація складових обігу $\text{C}_{\text{орг}}$ в агроценозах сівозмін змінюється. Виділяється кластер на рівні 12–15 %, який включає: к. о., $\text{C}_{\text{орг}}$ в агроценозі та вилучений з нього. Зазначені кластери об'єднуються в один на рівні подібності майже 40 %. Окремим кластером об'єднані показники умісту $\text{C}_{\text{орг}}$ в урожаї, у ґрунті, співвідношення $\text{C}_{\text{орг}}$ у ґрунті та побічний продукції, баланс $\text{C}_{\text{орг}}$ у ґрунті. Зазначені складові об'єднуються в один кластер на рівні подібності 45 %.

У відокремлений кластер на рівні 80 % об'єднуються Іб органічного вуглецю у ґрунті та агроценозі, викиди CO_2 від мінералізації побічної продукції та маса побічної продукції, що надійшла як добриво. Об'єднання попередніх кластерів з визначеним останнім відбувається на рівні подібності більшої за 80 %, а відокремленим параметром є баланс $\text{C}_{\text{орг}}$ в агроценозах. За використання побічної продукції в якості органічних добрив об'єднання маси побічної продукції та виділеного CO_2 від її мінералізації в один кластер з Іб $\text{C}_{\text{орг}}$ у ґрунті та

агроценозах, більшою мірою, розбалансовує статті колообігу $C_{\text{орг.}}$, ніж за використання гною та свідчить про посилений викид вуглекислоти в атмосферу від мінералізації. З оранки витрати $C_{\text{орг.}}$ через мінералізацію, більшою мірою, контролюються іншими параметрами та складовими колообігу $C_{\text{орг.}}$.

У рівняннях регресії залежності між $C_{\text{орг}(\text{CO}_2)}$ та кількістю побічної продукції, яка залишається на полі після відмови від гною, коефіцієнти регресії при змінній зростають у 1,7 раза, а величина вільного члена у 1,23 раза, тобто на 1 т залишеної побічної продукції втрачається через мінералізацію суттєво більше $C_{\text{орг}(\text{CO}_2)}$ порівняно з показниками за внесення гною.

Між балансом $C_{\text{орг.}}$ у агроценозі та надходженням $C_{\text{орг.}(a)}$ за внесення гною виявлено обернену кореляційну залежність ($R=-0,66\pm0,02$, $R^2=0,44$), а за внесення побічної продукції залежність зростала до $R=-0,87\pm0,02$, $R^2=0,76$. Коефіцієнти регресії при змінних за використання побічної продукції були вищими у 1,25 раза, а за величиною вільного члена — у 1,51 раза відносно рівнянь залежності параметрів при внесенні гною. Інтервали залишення побічної продукції у першому випадку змінювалися від 50 до 120 т, а у другому — від 20 до 70 т, що вплинуло на зниження дефіцитності балансу $C_{\text{орг.}}$ у агроценозі за використання у якості органічного добрива побічної продукції.

За внесення гною типовий інтервал викидів CO_2 через мінералізацію становить 32–49 т за вегетацію при максимальних зростаннях до 60 т. При внесенні побічної продукції типовий інтервал зростає до 88–123 т за вегетацію при максимальних зростаннях до 142 т. Величина середнього викиду CO_2 в останньому випадку перевищує викиди за внесення гною у 2,51 раза.

Баланс $C_{\text{орг.}}$ в агроценозах за внесення гною змінювався у типовому інтервалі значень: $-31,9$ – $-23,5$ т, тоді як за внесення побічної продукції в інтервалі $-42,3$ – $-27,5$ т. Середнє значення дефіцитності балансу $C_{\text{орг.}}$ в агроценозі за внесення гною становило $-28,5$ т, тоді як за внесення побічної продукції дефіцитність зростала на 127 %. Формування балансу $C_{\text{орг.}}$ у ґрунті мало обернену спрямованість. За внесення гною середнє значення становило $-1,52$ т, а внесення побічної продукції $+2,3$ т. Типові інтервальні значення балансу $C_{\text{орг.}}$ у ґрунті за внесеного гною мали від’ємне значення (від $-5,93$ – $-4,55$ т до $0,99$ т), а за внесення побічної продукції значення типового інтервалу балансу мало додатні показники.

Інтенсивність балансу $C_{\text{орг.}}$ в агроценозі за внесеного гною у типовому інтервалі значень змінювалось у межах 16–90 %, тоді як за внесення побічної продукції типовий інтервал значень зростав за мінімальними значеннями у 1,63 раза, а по максимальних значеннях був нижчим у 1,06 раза. Інтенсивність балансу $C_{\text{орг.}}$ у ґрунті за середнім значенням за використання побічної продукції була вищою у 1,46 раза порівняно з гноем (при значеннях $I_6=114,4\%$ та $I_6=78,13\%$ відповідно), а інтервальні типові значення, у першому випадку, становили 105–126 % та нижчі у 1,79 і 1,27 раза, у другому випадку, що пояснює додатність балансу $C_{\text{орг.}}$.

3.4. Управління азотно-вуглецевим обігом в агроценозах

На основі проведених розрахунків встановлено нормативні опосередковані параметри азотно-вуглецевого обігу для Лісостепової зони (див. рис. 3.4). Середній винос азоту (N) урожаєм (30,6 т к. о. за сівозміну або 6,12 кг/га за рік) становив 596 кг (119 кг/га) за сівозміну за типізованих інтервальних значень 426–718 кг. Загальний винос азоту з агроценозу — 744 кг, а типізований інтервальний — 525–937 кг. Надходження N за рахунок пожнивних, корневих, поукісних решток, гною у середньому становило 478 кг, а у інтервальному вимірі 342–634 кг.

Загальне надходження N із врахуванням мінеральних добрив, азотфіксації, N посівного матеріалу та опадів становило 715 кг або в інтервальному вимірі — 424–935 кг за наростаючим виходом. Баланс N в агроценозах становив 30 кг (–6 кг/га), а у інтервальному вимірі –203...+163 кг. Інтенсивність балансу N досягала 101 %, а інтервально — 77–122 %. Виявлено зв'язок азотного обігу з обігом вуглецю: на одиницю від'ємного значення балансу азоту приходиться 1,12 т від'ємного балансу вуглецю. Від'ємність балансу азоту в агроценозах забезпечила додатність балансу вуглецю у ґрунті на рівні простого відтворення ($B_c(r)=+0,5$ т або $B_c(r)=0,1$ т/га), а в інтервальному вимірі $B_c(r)=-1,7-2,9$ т. Інтенсивність балансу N у середньому становила 101 % або 77–122 %, а $I_6(C_{\text{агр.}})=21,5-86\%$; у ґрунті $I_6(C_{\text{гр.}})=69,5-116\%$.

При внесенні гною та вилученні побічної продукції з агроценозів параметри азотного обігу за виносом урожаєм знижувалися відносно середнього до 551 кг (110 кг/га), а при інтервальному значенні становили 383–680 кг. При цьому загальний винос N зростав до 821 кг

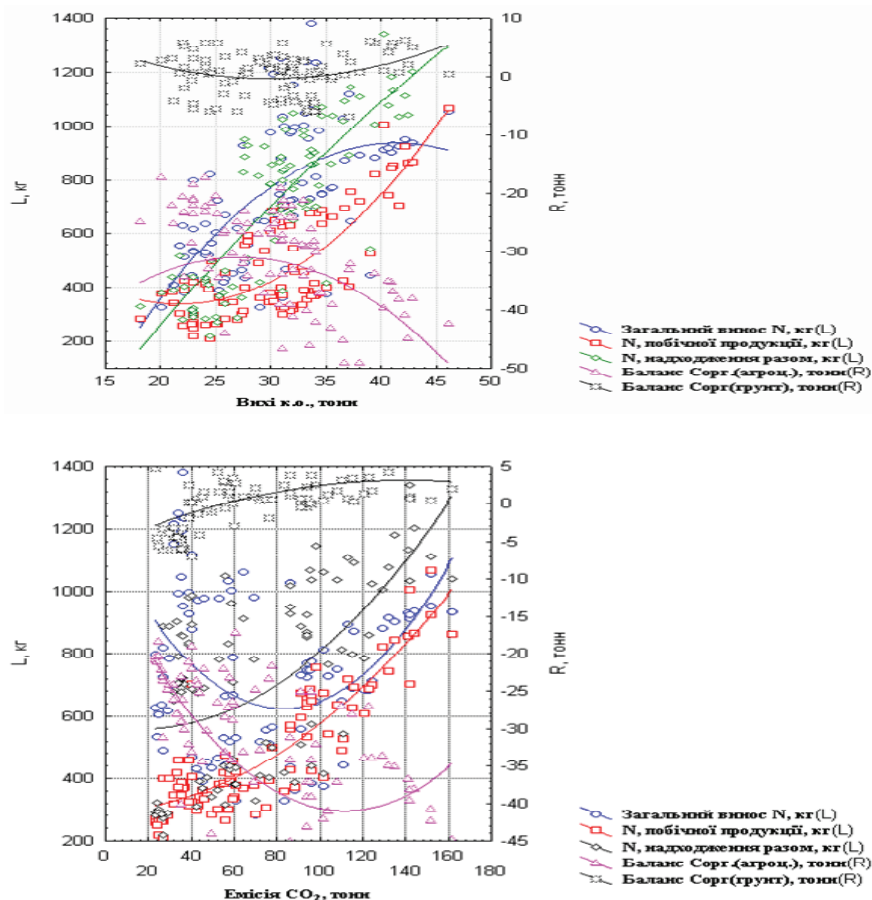


Рис. 3.4. Загальна модель азотно-вуглецевого обігу в агроценозах короткочасних сівозмінів для умов Лісостепу України

(164 кг/га), а за інтервального значення 528–1031 кг (106–206 кг/га). Надходження N з поживними та кореновими рештками знижується на 129 кг (25,8 кг/га), а інтервального значення надходження азоту становило 300–389 кг (60–78 кг/га).

Загальне надходження N до агроценозу становило 629 кг (125,8 кг/га) при інтервальному значенні 352–846 кг (70–169 кг/га). Баланс азоту в агроценозах за внесення гною становив –203 кг (–41 кг/га), а за інтервальним значенням: –403...–64 кг або –80,6...–12,8 кг/га. Інтенсивність балансу N становила 37–91 % або у середньому 82,1 %. Зростання дефіцитності балансу N за систематичного внесення гною прямо пов'язане з зростанням дефіцитності балансу вуглецю як в агроценозах, так і у ґрунті: Бс(а)=–28 т (Бс(а)=–31,5...–23,0 т та Бс(г)=–1,3 т (Бс(г)=–4,5–1,1 т). При цьому Іб вуглецю в агроценозі та ґрунті були на рівні 59,4–80,8 %.

За систематичного внесення побічної продукції загальний винос N урожаєм відносно середнього значення зріс на 45 т (9 т/га), а за інтервального значення на 102–93 т (20,4 т/га і 18,6 т/га). Надходження N з побічної продукції зросло на 127 % і 174 % відносно середнього значення та систематичного внесення гною і становило 607 кг (121 кг/га) або 425–702 кг (85–140 кг/га). Загальне надходження N становило 802 кг, що вище відносно середнього та внесення гною на 113 % і 128 %, а інтервальне значення при цьому становило 432–1052 кг або 86,4–210 кг/га.

Баланс N в агроценозах був додатним (+143 кг або +28,6 кг/га), а у інтервальному вимірі +44...+272 кг (8,8–54,4 кг/га). Інтенсивність балансу N зросла до 120 %, змінюючись від 112 % до 130 %. За використання побічної продукції додатність балансу N в агроценозі супроводжувалась зростанням дефіцитності балансу вуглецю (Бс(а)=–38,8 т) і додатністю балансу вуглецю у ґрунті (Бс(г)= +2,3 т). Відповідно Іб у першому випадку становила 62,1 %, а у другому 110 %. За рахунок мінералізаційних процесів за сівозміну у середньому в атмосферу вивільнилося 101 т CO₂, тоді як за внесення гною у 2,43 раза менше, а відносно середнього значення — у 1,42 раза менше.

У сівозміні з горохом (рис. 3.5) при використанні побічної продукції винос N урожаєм зростає на 120 %, а загальний винос N з агроценозу зменшується на 180 кг (36,0 кг/га) відносно середнього. Інтервальний винос N за використання побічної продукції зростає, а при внесенні гною розширюється за типовим інтервальним розмахом у 1,68 раза. Надходження N з побічною продукцією за використання гною знижується у 2,02 раза, а за типовим розмахом — у 3 рази. Загальне надходження N зростає у 1,42 раза, а за типовим розмахом — у 1,27 раза. Баланс N в агроценозі за використання побічної про-

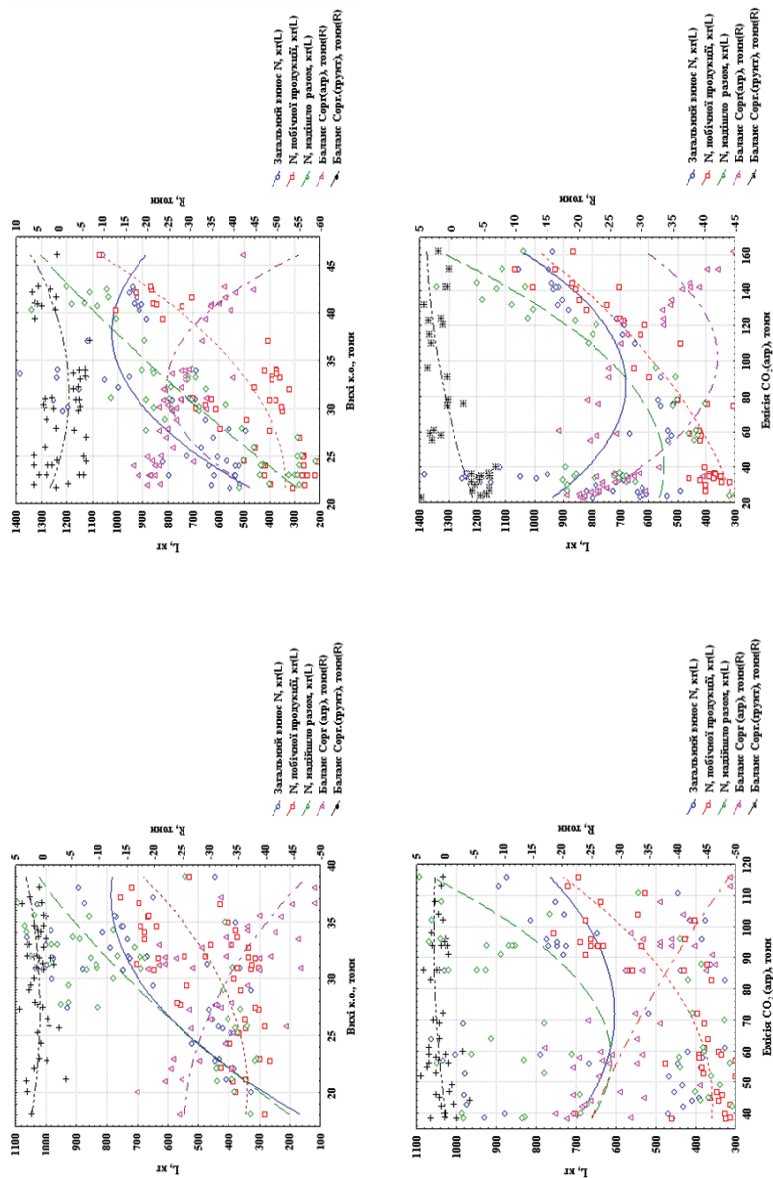


Рис. 3.5. Загальна модель азотно-вуглецевого обігу в агроценозах сівозміні для умов Лісостепу України: 1 — сівозмініна з травами; 2 — сівозмініна з горохом

дукції набув додатного значення (+97,8 кг), тоді як за внесення гною баланс N був від'ємним (–345 кг), а за типовим розмахом +32,6 кг і –55 кг відповідно. Інтенсивність балансу N становила 109 % і 66,7 % при зниженні типового розмаху у 1,62 раза за використання побічної продукції. У сівозміні з багаторічними травами за використання побічної продукції винос N з урожаєм був вищим, ніж за внесення гною на 62 кг або на 113 %, а загальний винос азоту був нижчим на 129 кг (25,8 кг/га).

Надходження N за рахунок побічної продукції у сівозміні з травами (рис. 3.5) було нижчим порівняно з сівозміною з горохом на 116 кг і на 20 кг за використання гною, але у межах сівозміні за використання гною надходження N знижувалися на 183 кг (36,6 кг/га), а за типовим розмахом у 1,58 раза. Загальне надходження N у сівозміні з травами при використанні побічної продукції знижувалося у 1,14 раза і зростало за використання гною у 1,13 раза порівняно з сівозміною з горохом, а у сівозміні з горохом використання побічної продукції забезпечувало вище у 1,15 раза надходження N порівняно з використанням гною.

При цьому баланс N у першому випадку становив +189 кг (37,8 кг/га) і –61,4 кг (–12,3 кг/га) у другому. Відповідно Іб при використанні побічної продукції була вищою у 1,34 раза. Додатність балансу N за внесення побічної продукції не забезпечувало додатність балансу органічного вуглецю (–38,8 тонн) в агроценозах сівозмін з горохом і травами, тоді як у зазначених сівозмінах із внесенням гною формувалася від'ємний баланс вуглецю, який виявився менш дефіцитним у 1,30–1,5 раза. Проте, додатність балансу N при використанні побічної продукції вплинула на баланс органічного вуглецю у ґрунті (+2,0–2,7 т або +0,40–0,54 т/га) у сівозміні з горохом та багаторічними травами. З унесенням гною від'ємність балансу N визначав від'ємність балансу вуглецю у ґрунті: –3,12 т (–0,63 т/га) у сівозміні з горохом та –0,93 т (–0,06 т/га) у сівозміні з багаторічними травами.

При цьому Іб з вуглецю в агроценозах сівозмін незалежно від виду органічних добрив становив 56,6–62,2 %, а Іб балансу вуглецю у ґрунті за використання побічної продукції у сівозміні з горохом становила 114,2 %, а у сівозміні з багаторічними травами — 107,6 %. За внесення гною у першому випадку Іб=59,4 %, а у другому — 102,6 %, що свідчить про ефективність використання гною і побічної продукції саме при насиченні сівозмін багаторічними травами.

Розрахунки показують, що на рівні з впливом виду органічних добрив і типу сівозміни, обробіток також впливав на колообіг N. Так, за систематичної оранки винос N урожаєм становив 645 кг; за безполицевого обробітку 628 кг, а за безполицевого мілкого обробітку — 475 кг.

За типовим розмахом винос N більш стабільним був за безполицевого обробітку, тоді як за оранки і поверхневого обробітку винос N був вищим у 1,24 і 1,23 рази. Загальний винос N з агроценозу був найвищим за оранки (813 кг), тоді як за безполицевого і поверхневого обробітків меншим на 17 і 252 кг або 3,4 кг/га і 50,4 кг/га.

Надходження N з побічною продукцією за оранки та безполицевого обробітку було однаковим (488 кг), а за поверхневого обробітку — нижчим на 38 кг. Загальне надходження N в агроценоз за глибоких обробітків становило 717–742 кг (143–148 кг/га), а за неглибокого безполицевого обробітку знижувалося на 105 і 80 кг відповідно.

Баланс N за оранки і безполицевого обробітку був від’ємним: –68,4 кг і –80,4 кг, тоді як за неглибокого безполицевого обробітку виявився додатним +103 кг (+20,6 кг/га). Інтенсивність балансу за глибоких обробітків становила 94,1–94,6 %, а за неглибокого безполицевого обробітку — 122 %. Інтенсивність балансу вуглецю агроценозу і ґрунту мало значення нижче за 100 % незалежно від способу обробітку ґрунту: 55,3–62,7 % для вуглецю в агроценозах та 93,5–98,2 % для балансу вуглецю у ґрунті. При цьому викиди CO₂ внаслідок мінералізації органічної речовини мають стійку тенденцію до зниження від оранки (CO₂ — 77,5 т або 15,5 т/га) до безполицевого обробітку (67,9–68,5 т або 13,5 т/га) та 60,2 т (12,4 т/га) за неглибокого безполицевого обробітку. На величину викидів NO₂ спосіб обробітку впливав мало: 21–23 кг (4,2–4,6 т/га).

Розрахунок показав, що вид органічних добрив впливає на рівень кореляційних зв’язків між виходом кормових одиниць та складовими азотного балансу. За внесення гною між продуктивністю сівозмін, загальним виносом азоту, надходженням з побічної продукції і загальним надходженням азоту виявлено прямий кореляційний зв’язок $R=0,69\pm0,02$; $R=0,57\pm0,03$ та $R=0,87\pm0,02$ відповідно, тоді як за внесення побічної продукції зв’язок підсилювався до рівня прямої сильної кореляції: $R=0,82-0,88\pm0,03$. При цьому баланс органічного вуглецю у ґрунті зі зростанням продуктивності сівозмін з унесенням гною був від’ємним, тоді як за внесення побічної продукції

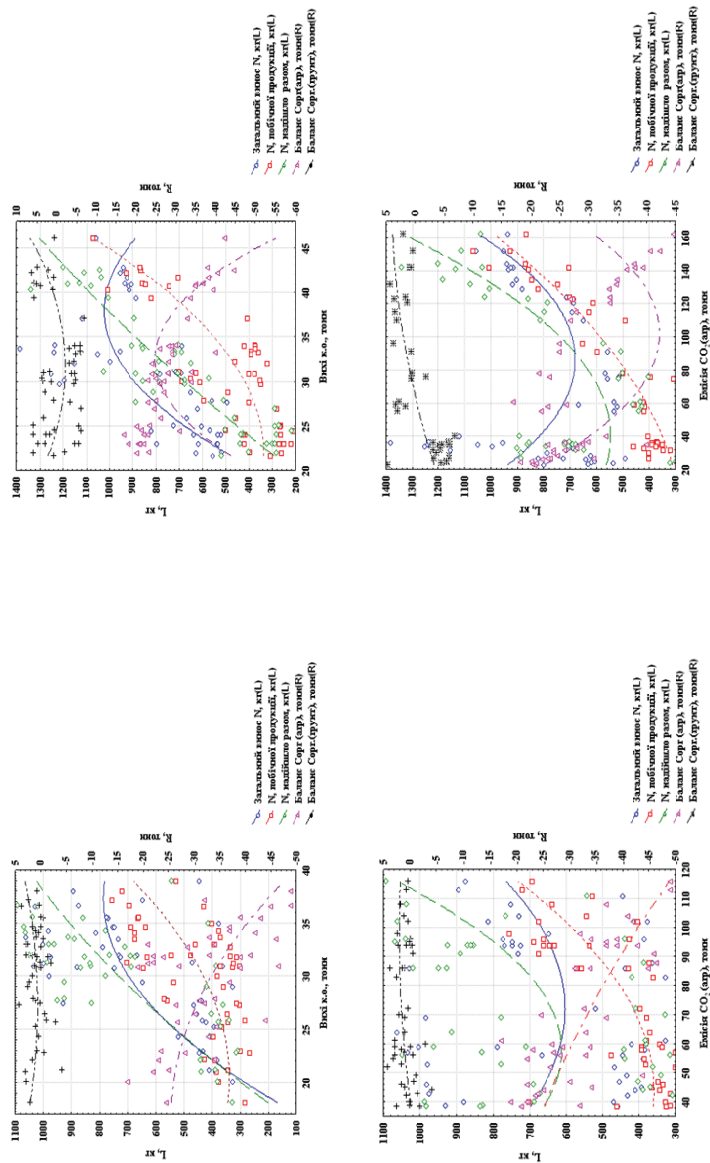


Рис. 3.6. Загальна модель азотно-вуглецевого обігу в агроценозах сівозміні для умов Лісостепу України: 1 — оранка на 22–25 см; 2 — безплісцевий обробіток на 22–25 см

мав додатне значення в усьому інтервалі типізованої продуктивності.

В останньому випадку на одиницю зростання продуктивності припадала у 2,1 раза менша кількість виносу загального азоту, а надходження азоту з побічної продукції було у 2,13 раза вищим, ніж за внесення гною. За внесення гною між викидами CO_2 від мінералізації та надходження азоту зв'язок був на рівні слабого кореляційного зв'язку ($R=0,28-0,30\pm 0,05$), тоді як при внесенні побічної продукції зв'язок був на рівні прямої сильної кореляції ($R=0,79-0,85\pm 0,02$), а на одиницю виділеного CO_2 від мінералізації побічної продукції приходилось 5,59 кг/га і 8,44 кг/га N побічної продукції та загального надходження азоту.

За використання побічної продукції баланс $C_{\text{орг.}}$ у ґрунті у типізованому інтервалі викиду CO_2 був додатним, тоді як за внесення гною додатність балансу вуглецю супроводжувалась дефіцитністю балансу азоту у типізованому інтервалі викидів CO_2 від мінералізації. Встановлено, що між продуктивністю сівозміни з горохом, загальним виносом азоту та надходженням азоту з побічної продукції та загальним його надходженням виявлено пряму кореляцію з виносом азоту на рівні $R=0,57\pm 0,03$, а з надходженням азоту на рівні $R=0,79-0,91\pm 0,03$. У сівозміні з травами зв'язок між продуктивністю та складовими балансу азоту послаблюється до середнього рівня за виносом і надходженням азоту від побічної продукції $R=0,58-0,61\pm 0,03$.

За загальним надходженням азоту і продуктивністю культур виявлено пряму сильну кореляцію ($R=0,73-0,83\pm 0,02$), а з балансом азоту зв'язок послаблюється до слабого рівня ($R=0,82-0,87\pm 0,03$). На одиницю зростання продуктивності культур у сівозмінах приходить однакова кількість азоту незалежно від обробітку ґрунту. При цьому баланс $C_{\text{орг.}}$ у ґрунті в обох випадках був додатним, а баланс $C_{\text{орг.}}$ в агроценозах складається спадаючи дефіцитним.

Оцінка впливу обробітку ґрунту на продуктивність культур в агроценозах короткоротаційних сівозмін з складовими балансу азоту показує, що незалежно від способу обробітку між загальним виносом і надходженням азоту з побічної продукції виникають кореляційні зв'язки на рівні прямої сильної кореляції ($R=0,73-0,83\pm 0,02$), тоді як зв'язок з загальним виносом азоту послаблюється до слабого кореляційного зв'язку ($R=0,32-0,37\pm 0,02$). Незалежно від обробітку ґрунту між надходженням азоту з побічної продукції та кількістю CO_2

Таблиця 3.7. Значення коефіцієнтів кореляції та коефіцієнти регресії лінійних рівнянь азотно-вуглецевого обігу залежно від складових системи землеробства в агроценозах Лісостепу України

Типи сівозмін, види органічних добрив, способи обробітку ґрунту	Статті балансу N, кг:		
	загальний винос з агроценозу*	надійшло до агроценозу	
		з побічною продукцією	разом
Вихід к.о. в сівозміні, т			
Внесення б т/га гною			
Сівозміна з горохом	0,85 12,9	0,88 48,4	-0,01 -0,33
Сівозміна з багаторічними травами	0,37 7,90	0,86 53,6	0,13 5,9
б т/га побічної продукції			
Сівозміна з горохом	0,94 24,5	0,94 37,4	0,77 15,3
Сівозміна з багаторічними травами	0,29 2,60	0,26 4,80	-0,06 -0,56
Емісія CO ₂ в сівозміні, т			
Внесення б т/га гною			
Сівозміна з горохом	0,78 10,7	0,79 40,7	-0,17 -8,93
Сівозміна з багаторічними травами	0,03 0,21	0,13 2,91	-0,11 -1,82
б т/га побічної продукції			
Сівозміна з горохом	0,91 5,55	0,93 8,80	0,83 3,88
Сівозміна з багаторічними травами	0,66 5,59	0,62 10,6	0,35 2,78
Вихід к.о. в сівозміні, т			
Оранка на 22–25 см	0,73 23,2	0,83 40,7	0,32 14,8
Безполицевий обробіток на 22–25 см	0,75 22,0	0,81 39,5	0,37 17,8
Безполицевий обробіток на 10–12 см	0,72 18,7	0,79 22,4	0,82 46,6

Закінчення таблиці 3.7

Типи сівозмін, види органічних добрив, способи обробітку ґрунту	Статті балансу N, кг:		
	загальний винос з агроценозу*	надійшло до агроценозу	
		з побічною продукцією	разом
Емісія CO ₂ в сівозміні, т			
Оранка на 22–25 см	0,87 4,48	0,59 4,65	0,66 4,94
Безполицевий обробіток на 22–25 см	0,85 4,08	0,53 4,26	0,58 4,55
Безполицевий обробіток на 10–12 см	0,76 3,61	0,52 4,90	0,32 2,60
Вихід к.о. в сівозміні, т (загальна модель)			
Сівозміна з горохом	0,57 21,8	0,79 26,9	0,91 42,2
Сівозміна з багаторічними травами	0,61 28,5	0,58 16,6	0,74 39,1
Емісія CO ₂ в сівозміні, т (загальна модель)			
Сівозміна з горохом	-0,04 -0,19	0,94 4,53	0,72 4,7
Сівозміна з багаторічними травами	0,03 0,34	0,71 4,35	0,39 4,36
Вихід к.о. в сівозміні, т (загальна модель)			
6 т/га гною	0,69 47,1	0,57 10,7	0,87 51,2
6 т/га побічної продукції	0,82 23,2	0,88 22,7	0,82 35,1
Емісія CO ₂ в сівозміні, т (загальна модель)			
6 т/га гною	0,28 1,61	0,30 5,56	0,48 6,51
6 т/га побічної продукції	0,85 5,59	0,79 8,44	0,48 2,64

* У чисельнику — коефіцієнти кореляції R лінійної залежності між параметрами, у знаменнику — коефіцієнти регресії (b) у лінійних рівняннях залежностей між параметрами.

установлено пряму сильну кореляцію ($R=0,85-0,87\pm0,03$), а з загальним надходженням азоту та його балансом зв'язок послаблюється до $R=0,55-0,65\pm0,03$, що свідчить про послаблення впливу способів обробітку чорнозему на взаємозв'язки між складовими азотно-вуглецевого циклу в агроценозах різноротаційних сівозмін. На передній план управління азотно-вуглецевим обігом впливають вид органічних добрив та тип сівозміни, спосіб обробітку ґрунту є підпорядкованим фактором в агроценозах. Продукування CO_2 залежно від типу сівозміни пов'язане з загальним надходженням азоту ($R=0,71-0,94\pm0,03$), а баланс азоту у сівозміні з горохом корелював з продуктивністю на рівні сильної прямої кореляції ($R=0,72\pm0,03$), тоді як у сівозміні з травами зв'язок послаблювався до слабого рівня ($R=0,45\pm0,03$).

Визначення впливу сівозмінного фактору на баланс $\text{C}_{\text{орг.}}$ у ґрунті показує, що у сівозміні з травами забезпечується додатність балансу у типізованому інтервалі викидів CO_2 , тоді як у сівозміні з горохом тренд балансу $\text{C}_{\text{орг.}}$ був зростаючим, а додатність балансу $\text{C}_{\text{орг.}}$ у ґрунті досягається за максимального надходження азоту побічної продукції та загального надходження, що одночасно знижує дефіцитність $\text{C}_{\text{орг.}}$ агроценозу до -30 т/га, тоді як у сівозміні з травами відбувається зростання дефіцитності балансу $\text{C}_{\text{орг.}}$ в агроценозі за рахунок вилучення маси багаторічних трав.

Маса виділеного CO_2 від мінералізації органічної речовини була у прямій залежності з надходженням з побічної продукції ($R=0,85-0,87\pm0,02$), а з загальним надходженням азоту до агроценозу та балансом азоту зв'язок послаблювався до прямої кореляції середнього рівня ($R=0,53-0,66\pm0,02$). Коефіцієнти регресії у лінійних рівняннях між загальним виносом і надходженням азоту зменшилися у 1,21–1,79 раза, а з загальним надходженням зросли у 3,15 раза. Маса виділеного CO_2 внаслідок мінералізації за поверхневого обробітку корелювала з складовими балансу азоту аналогічно глибоким обробіткам, але за коефіцієнтами регресії рівнянь залежності на одиницю викиду CO_2 приходилася менша у 1,25 раза кількість азоту побічної продукції та у 1,9 раза менша зміна балансу азоту. У рівняннях регресії залежності продуктивності сівозмін і викидів CO_2 з складовими балансу азоту коефіцієнти регресії були близькими за значеннями, що свідчить про однотипність впливу способу обробітку у зазначених процесах обігу біогенних елементів. За систематичного поверхневого обробітку вихід

к. о. з 1 га в агроценозах сівозмін (аналогічно глибоким обробіткам) пов'язаний з загальним виносом і надходженням азоту сильною прямою кореляцією ($R=0,72-0,79\pm 0,02$). Між продуктивністю та загальним виносом N рівень кореляційного зв'язку зріс до сильного прямого у противагу глибоким обробіткам.

Використання побічної продукції у якості органічних добрив при поверхневій її локалізації за систематичного виконання безполіцевого обробітку моделюється природний колообіг органічного вуглецю в агроценозах, що при довгостроковому виконанні сприяє відновленню запасів $C_{орг.}$, як у агроценозі, так і ґрунті, наближаючи їх уміст до природного статусу, що підтверджується дослідженнями, де показано, що сумарна емісія CO_2 зменшується у ряду: цілина – переліг – рілля. У весняно-літній період емісія CO_2 на цілині перевищує емісію вуглекислоти за оранки у 10–23 рази, а відносно осіннього періоду, весною емісія CO_2 вища у 10–25 разів за утримання цілини та перелогу та у 4–5 разів за систематичного виконання оранки у довгостроковому вимірі.

Взаємодія між вуглецевим і азотним обігом в агроценозах суттєво впливає на уміст азоту і вуглецю в сільськогосподарських культурах, детриті та органічній речовині ґрунту, а інтенсивність обігу азоту і вуглецю визначається співвідношенням C до N, як у ґрунті, так і у агроценозах у цілому.

Використання різних видів органічних добрив впливає на винос, як азоту так і вуглецю. При внесенні гною винос азоту за межі агроценозів перевищує його надходження на 154 кг, тоді як при використанні побічної продукції, навпаки, надходження азоту в агроценоз перевищує його винос на 145 кг за рахунок надходження азоту з побічної продукції, яке перевищує надходження за внесення гною у 1,75 раза. Відповідно, винос $C_{орг.}$ за внесення побічної продукції зростає на 7,6 тонн, а надходження $C_{орг.}$ зростає у 2,10 раза порівняно з використанням гною (табл. 3.8, рис. 3.7).

Незалежно від виду органічних добрив в агроценозах сівозмін залучено від 1424 до 1468 кг азоту (зростання за використання побічної продукції), а вуглецю в останньому випадку залучається у 1,48 раза більше, ніж за використання гною. Співвідношення C до N за загальним виносом при використанні побічної продукції у середньому становило 67 бо 1, проти 45 до 1 за використання гною, а за статтями надходження співвідношення C до N становило 53 до 1 та 28 до 1.

Таблиця 3.8. Співвідношення вуглецю до азоту в агроценозах різного типу за використання різних видів органічних добрив і способів обробітку чорнозему

Параметри колообігу	$\chi_{\text{ср.}}^*$	Інтервал значень*	$\chi_{\text{ср.}}^*$	Інтервал значень*
<i>Види органічних добрив</i>				
	гній 6 т/га		ППр*	
$C_{\text{орг.}}$ (винос) до N (винос)	44,7	34,0–49,0	67,4	52,0–75,0
$C_{\text{орг.}}$ (надходження) до N (надходження)	28,0	17,5–39,5	53,2	37,0–64,0
$C_{\text{орг.}}$ (агроценозу) до N (агроценозу)	36,9	27,5–40,5	54,2	38,0–57,0
<i>Сівозміна з:</i>				
	горохом		травами	
$C_{\text{орг.}}$ (винос) до N (винос)	44,3	34,0–53,5	67,8	45,0–76,5
$C_{\text{орг.}}$ (надходження) до N (надходження)	41,7	18,0–58,5	39,5	28,5–44,5
$C_{\text{орг.}}$ (агроценозу) до N (агроценозу)	40,6	27,5–52,5	50,5	34,5–63,5
<i>Способи обробітку</i>				
	оранка на 22–25 см		безпліцевий	
$C_{\text{орг.}}$ (винос) до N (винос)	57,7	41,0–56,5	55,1	41,0–60,0
$C_{\text{орг.}}$ (надходження) до N (надходження)	42,4	33,5–54,0	39,0	23,5–57,0
$C_{\text{орг.}}$ (агроценозу) до N (агроценозу)	47,7	35,5–54,0	44,3	32,5–53,5

* $C_{\text{орг.}}$ (тонн) на 1 кг N; ** ППр — 7 т/га побічної продукції.

За загальним обігом: 54 до 1 і 37 до 1 відповідно. Вплив типу сівозміни на співвідношення C до N мало свої певні особливості: у сівозміні з горохом загальний винос азоту був вищим у 1,19 раза порівняно з сівозміною з травами. Надходження азоту з побічної продукції було вищим у 1,10 раза; загальне надходження було вищим у 1,05 раза, а кількість азоту у загальному обігу була вищою у 1,15 раза порівняно з сівозміною з травами.

У сівозміні з горохом винос $C_{\text{орг.}}$ з агроценозів незалежно від типу становив 36,0–39,0 т, а надходження $C_{\text{орг.}}$ було вищим у 1,23 раза, хоча загальна кількість $C_{\text{орг.}}$ у агроценозах з горохом і травами була у межах 59,4–60,8 т. Співвідношення C до N за виносом у сівозміні з травами було вищим у 1,53 раза. Надходження азоту і вуглецю було у межах 39,5–41,7 т незалежно від типу агроценозу, хоча об'єм

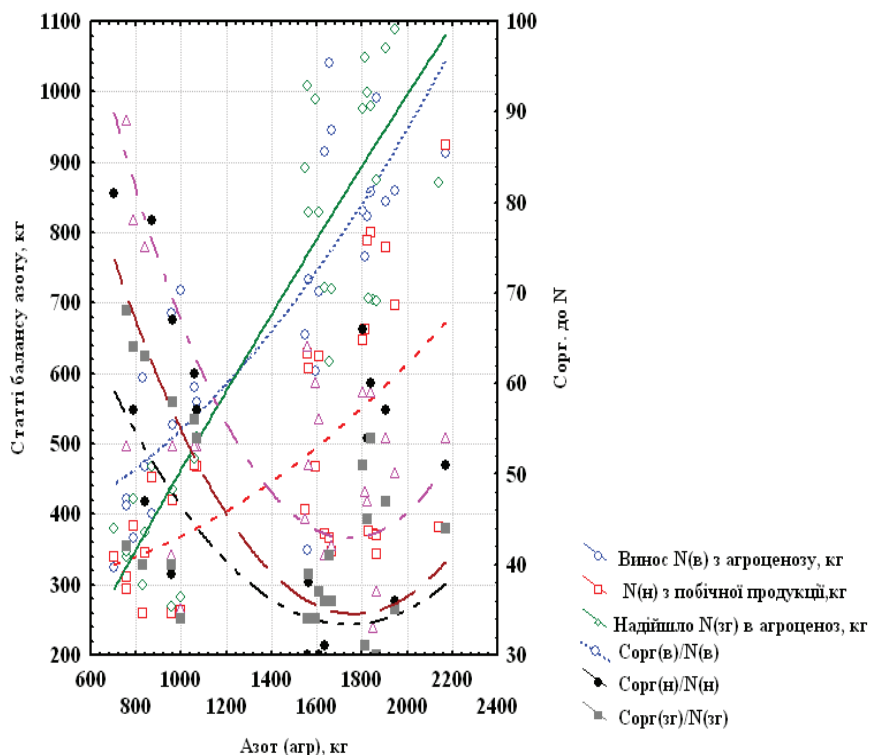


Рис. 3.7. Залежність статей балансу азотно-вуглецевого обігу надходженням і співвідношенням азоту до вуглецю для умов Лісостепу України

загального обігу С і N у сівозміні з травами був вищим у 1,24 раза порівняно із сівозміною з горохом. Вплив способу обробітку ґрунту на колообіг N зводився до того, що за безполицевого обробітку загальний винос, надходження і об'єм N в агроценозах зменшувалися у 1,05, 1,03 і 1,09 раза відповідно, а надходження і загальна кількість $C_{\text{орг}}$ мали стійку тенденцію до зниження у 1,14, 1,12 і 1,13 раза, це впливало на співвідношення С до N, значення якого за безполицевого обробітку зменшувалося у 1,05, 1,08 та 1,09 раза порівняно з використанням гною та соломи за оранки, що свідчить про зниження інтенсивності колообігу С і N за безполицевого обробітку, у ґрунті, так і

агроценозі в цілому. Виявлено, що більша кількість достовірних кореляційних обернених зв'язків між співвідношенням С до N перелічених вище статей балансу азоту і вуглецю була за використання різних видів органічних добрив: $R = -0,55 \dots -0,81 \pm 0,02$ за внесення гною та $R = -0,56 \dots -0,73 \pm 0,02$ за внесення побічної продукції.

За різних способів обробітку ґрунту кореляційні зв'язки послаблялися до слабкої оберненої кореляції з виносом і надходженням азоту за оранки, а суттєве посилення кореляційного зв'язку відбувалося між виносом і загальним обігом С і N та їхнім співвідношенням: $R = -0,65 \dots -0,73 \pm 0,02$. За безпліцевого обробітку обернені достовірні кореляційні зв'язки виявлено з загальним обігом С і N та їх співвідношенням, а підсилення зв'язку до середнього рівня значень з загальним виносом азоту. У сівозміні з горохом між зазначеними параметрами азотно-вуглецевого обігу кореляційні зв'язки були на рівні слабкої оберненої кореляції, а у сівозміні з травами до рівня значень $R = -0,55 \dots -0,77 \pm 0,02$. Емісія CO_2 від мінералізації $\text{C}_{\text{орг}}$ у агроценозах за нормованим інтервалом значень становила 10,9–14,9 т при зростанні до 16,7 тонн за внесення побічної продукції. Емісія CO_2 від мінералізації побічної продукції була вищою у 3,85–6,83 рази, ніж від мінералізації гумусу і становила 41,4–102 т, зростаючи до 139 т за максимально-типовим значенням. Частка емісії CO_2 від мінералізації гною і побічної продукції становила від 74 % до 85 %, а за максимальним значенням досягала 89–90 %.

Колообіг азоту, являючись одним з основних лімітуючих факторів для прояву продуктивності та інтенсивності деструкційних процесів у агроценозах сівозмін різного типу, суттєво впливає на обіг органічного вуглецю за використання різних видів органічних добрив і при виконанні різних способів обробітку чорнозему в кліматичній системі Лісостепової зони України. Використання гною у якості органічних добрив створює умови коли загальний винос азоту з агроценозів перевищує його надходження у типовому інтервалі зростання продуктивності, що пов'язано з наростанням дефіцитності органічної речовини гумусу при надмірній мінералізації та виносу азоту. За використання побічної продукції загальний винос азоту з агроценозів менший за його надходження з побічної продукції та мінеральних добрив, що супроводжується позитивністю балансу органічного вуглецю у ґрунті та скороченням його дефіцитності у агроценозі у цілому (рис. 3.6–3.9).

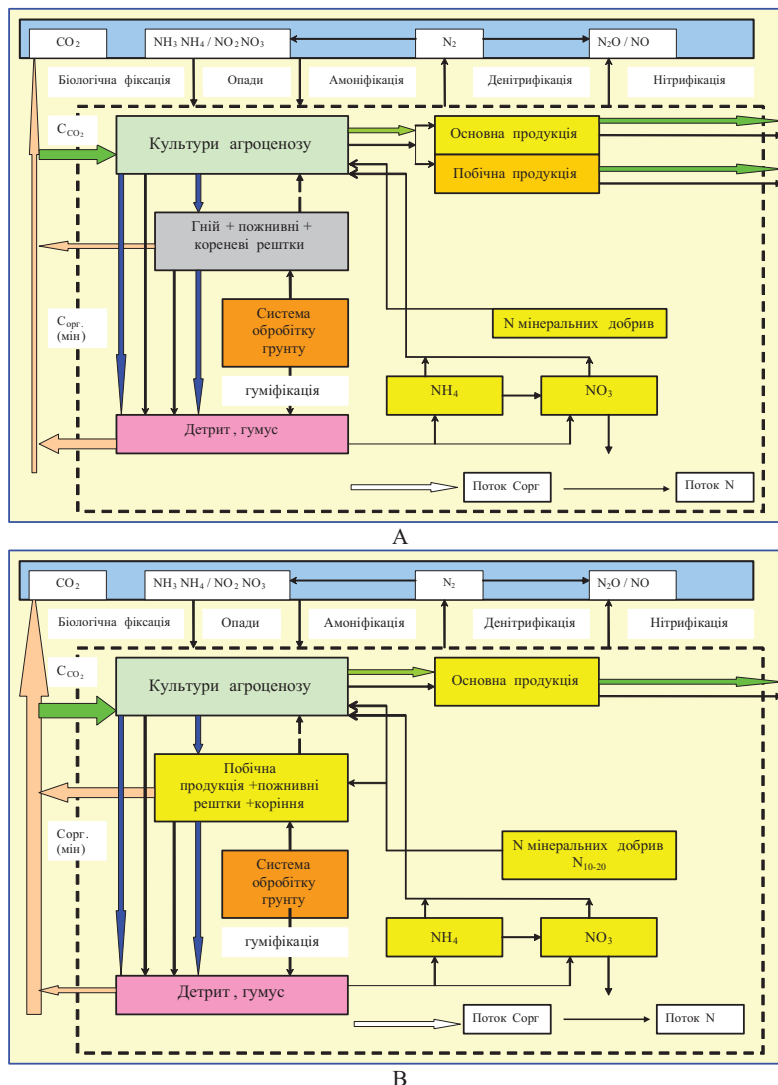


Рис. 3.8. Блок-схема азотно-вуглецевого обігу в агроценозах короткоротаційних сівозмінів за використання різних видів органічних добрив: А — 6 т/га гною; В — 6–7 т/га побічної продукції за виконання безполицевого обробітку

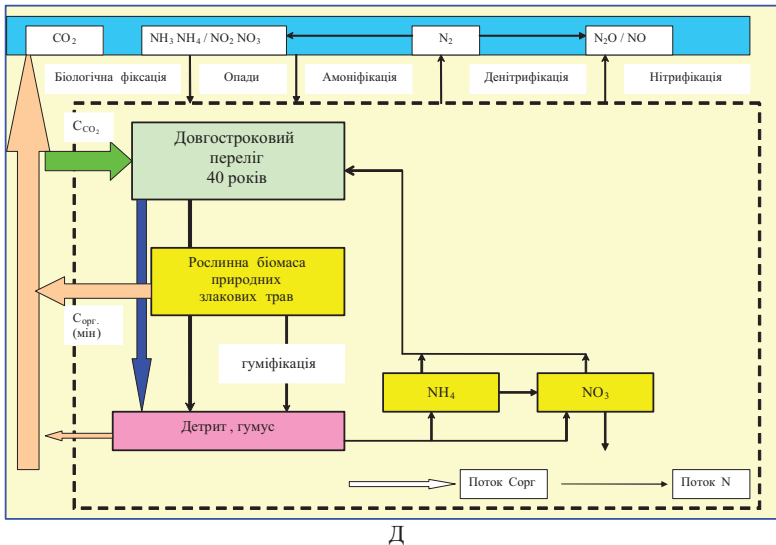
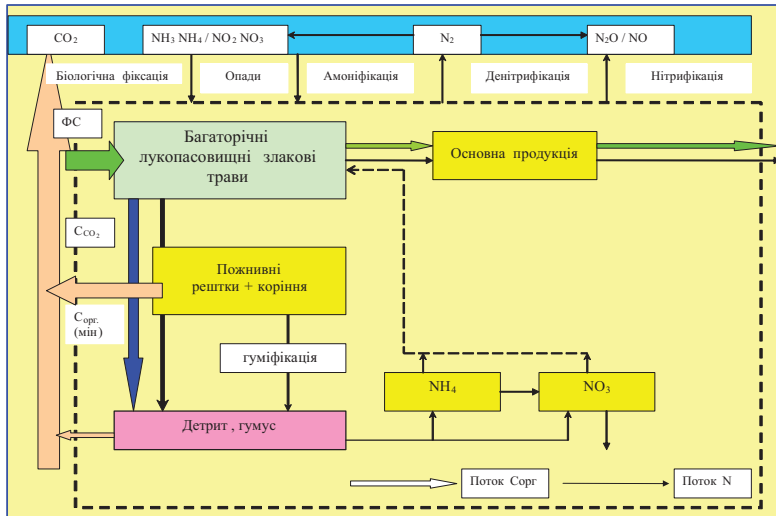


Рис. 3.9. Блок-схема азотно-вуглецевого обігу в агроценозі лукопасовищних багаторічних злакових трав (Γ) і при довгостроковому утриманні перелугу (Δ)

Вид органічного добрива впливає на емісію CO_2 в атмосферу від мінералізації: за використання гною типовий інтервал викидів становить 25–85 тонн, тоді як за побічної продукції викиди зростають до 80–160 тонн, що супроводжується посиленням виносом азоту порівняно з його надходженням в агроценози, у першому випадку, і, навпаки, лінійно зростаючим надходженням загального азоту у порівнянні з його виносом за рахунок мінералізації побічної продукції, у другому випадку. Одночасно відбувається зростання дефіцитності балансу вуглецю у ґрунті за внесення гною та зростання його додатності за використання побічної продукції, тобто, на рівні з додатністю CO_2 -фактора, який визначає делімітування вуглецевого живлення в агроценозах, відбувається розширене відтворення родючості чорнозему за безполицевого обробітку.

Вплив типу агроценозу (сівозміни) на азотно-вуглецевий обіг зводиться до того, що насичення сівозмін культурами з високим виходом побічної продукції (сівозмін з горохом) забезпечується лінійне зростання надходження азоту в типовому інтервалі зростання продуктивності за рахунок мінералізації побічної продукції та вивільнення азоту з неї. При вилученні маси багаторічних трав темпи вилучення та надходження азоту вирівнюються, а за максимальної урожайності не компенсуються залишеною побічною продукцією та азотфіксацією, що призводить до зростання дефіцитності балансу вуглецю за оберненою лінійною залежністю, тоді як у сівозміні з горохом наростання дефіцитності вуглецю змінюється параболічно у типовому інтервалі зростання продуктивності. Підвищена емісія CO_2 у останньому випадку супроводжується зростаючим балансом вуглецю ґрунту та підвищеною продуктивністю агроценозу.

Вплив способу обробітку чорнозему на азотно-вуглецевий обіг зводиться до того, що за безполицевого обробітку, незалежно від виду органічного добрива та типу агроценозу, у інтервалі зростання продуктивності, баланс вуглецю у ґрунті додатньо-зростаючий у порівнянні з оранкою, де характер наростання дефіцитності підпорядкований параболічності. Інтервал емісії CO_2 у атмосферу від мінералізації за оранки був більш широким порівняно з безполицевим обробітком, що свідчить про посилення мінералізаційних процесів у ґрунті за однотипності азотно-вуглецевого обігу, що визначає обробіток ґрунту, як підпорядковану регуляторну підсистему типу сівозміни і виду органічних добрив у загальному обігу.

За внесення гною та вилучення побічної продукції з агроценозу при виконанні оранки порушується виваженість між азотно-вуглецевим обігом, що супроводжується зниженням запасів наземного вуглецю у агроценозі і його складових (рослини, ґрунт, пул мікроорганізмів), що призводить до посилення автотрофного дихання та посиленням темпам розкладу детриту і гумусу, тобто зв'язок обіг вуглецю—клімат набуває позитивного значення. За такої моделі утримання агроценозу заміна оранки на безполицевий обробіток лише посилює процеси гуміфікації органічної речовини у ґрунті і, у незначній мірі, покращує вплив азотно-вуглецевого обігу на міжрічну зміну приземного теплового ресурсу від емісії CO_2 у атмосферу з агроценозу.

За використання побічної продукції у якості органічного добрива посилюється процес оптимізації азотно-вуглецевого обігу у агроценозах різного типу у напрямку природної організації, що призводить до зростання запасів наземного вуглецю при наростанні теплового ресурсу, який зумовлений посиленою емісією CO_2 в атмосферу від мінералізації надлишку побічної продукції і вивільнення мінеральних форм азоту у ґрунт, що збільшує продуктивність агроценозів за рахунок “стимулюючого ефекту N” та посиленому поглинанню CO_2 атмосфери. За таких обставин наростання парникового ефекту сприяє накопиченню органічного вуглецю в агроєкосистемах і агроценозах, які набувають властивості стокових систем, тобто чим більше залежність продуктивності агроценозів від інтенсивності засвоєння азоту, який надійшов у систему агроценозу, тим швидше поглинаються викиди CO_2 від мінералізації.

Залишення та використання як органічного добрива подрібненої побічної продукції рослинництва з достатньою азотною компенсацією мінеральними добривами, яка загортається у поверхневий шар чорнозему за систематичного безполицевого обробітку, моделює природний характер азотно-вуглецевого обігу у агроценозах короткоротаційних сівозмін різного типу, а відтворення природної моделі ґрунтоутворення в агроценозах на рівні з мікробіологічною активністю, забезпечується активізацією фотосинтетичної активності сільськогосподарських культур за рахунок відтворення стокових механізмів вуглецю при зростанні умісту CO_2 у атмосфері та наростанні теплового ресурсу в агроєкосистемах у цілому, що повинно бути базовою моделлю розширеного відтворення родючості чорноземів типових Лісостепу України.

СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНИЙ СТАН ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ В АГРОЦЕНОЗАХ ТА ПРИРОДНОМУ УТРИМАННІ

4.1. Дискретність відтворення структурного стану чорноземів типових

Структурний стан чорнозему — один із найважливіших факторів родючості [235–236, *], який впливає на урожайність сільськогосподарських культур та характеризує направленість ґрунтоутворення в агроценозах. Прийоми оптимізації структурного стану чорнозему повинні бути спрямовані не тільки на покращення або виправлення його агрофізичних властивостей, але і на приведення параметрів структурного стану чорнозему до потреб сільськогосподарських культур в агроценозах сівозмін. Питанню оптимізації структурного стану чорнозему присвячено багато робіт [19–20, 25, 70, 85, 272, 273, 279, 306, 334, 395, 396, 408], в яких досить детально проведено аналіз впливу структурного стану ґрунту на продуктивність сільськогосподарських культур, здатність ними поглинати елементи живлення та вологу.

Потрібно визнати фундаментальним висновок В.В. Медведєва [274, 275] про те, що універсально-оптимальної суміші структурних окремоостей бути не може. Для зернових культур (ячмінь, просо, пшениця озима) на початку вегетації найбільш задовільні умови вологозабезпечення та мінерального живлення має шар ґрунту з вмістом фракцій структурних окремоостей розміром: 5–20 мм — 75–80 %, 5–0,25 мм — 20 %, <0,25 мм — не більше 5 %. У подальшому розвитку —

* Медведєв В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). — Харьков: “Изд. 13 типография”. — 2008. — 406 с.

у критичні фази (цвітіння — налив зерна), потрібно, щоб підвищувався вміст структурних окремоостей розміром 2–5 мм, а у суміші структурних окремоостей повинно бути розміром: 5–20 мм — до 80 %, <2 мм — не більше 20 %. В умовах недостатнього зволоження найоптимальнішим повинно бути співвідношення структурних окремоостей у суміші: 5–20 мм — 10–15 %; 2–5 мм — 20 %; 0,5–2 мм — 45–60 %, <0,25 мм — не більше 15 %.

На основі модельних дослідів В.В. Медведєв [274] приходить до висновку про те, що на чорноземах типових суміш ґрунтових агрегатів є оптимальною, якщо містить структурних окремоостей розміром: 5–20 мм — 20–25 %, 0,25–5 мм — 60–65 % та <0,25 мм — 15 %. У науковій літературі наводять детальні дослідження з питань впливу різних фракцій структурних окремоостей на швидкість витрати ґрунтової вологи [50, 51, 79, 139, 287, 291–292, 450]. У структурних окремоостях розміром 1–2 мм — водопідйомна здатність найменша [139]. С.Н. Рижов та В.З. Богомолів [365] показали, що при насиченості ґрунту вологою до значень вищих за НПВ (найменша польова вологоємність) та до 70–80 % НПВ у мікроструктурних ґрунтах витрачається більше вологи при випаровуванні. Дослідженнями Б.Д. Михайлова [287] показано, що найменше випаровують вологу структурні окремоості розміром 2–5 мм.

Більші за розміром агрегати інтенсивніше випаровують ґрунтову вологу. Дослідження Д.І. Бурова [50, 51], які отримані у польових умовах, показали, що найбільш ефективно та раціонально процес фізичного випаровування вологи з ґрунту визначається фракцією структурних окремоостей розміром 0,5–3 мм.

У наукових дослідженнях приділяється недостатня увага здатності ґрунтів до саморегуляції. В роботах Ф.М. Лисецького [243, 244] у загальній формі показано, що існує залежність граничної потужності гумусованого горизонту від величини щорічних енергетичних затрат на ґрунтоутворення в агроценозах, а досягнення та реалізація критерію агрофізичної саморегуляції ґрунтів супроводжується дискретністю зміни стану ґрунту як системи, що пов'язано з часом. До подібних висновків прийшов А.Л. Андрейчик [17]. Про сезонну саморегуляцію гумусового стану та поживного режиму чорноземів показано в працях В.В. Пономарьової [336], а про саморегуляцію цих процесів під впливом ґрунтозахисних технологій в роботах М.К. Шикули [440]. Принципи відтворення еродованих ґрунтів у загальній формі ви-

кладено Ф.М. Лисецьким [244]. Питання оптимізації агрофізичних властивостей чорноземів фундаментально розкриті В.В. Медведєвим [269–271, 275]. П.Н. Березін [30–32] вважав, що істотною перешкодою у вирішенні питань агрофізичної саморегуляції ґрунту є недостатня вивченість дискретності ґрунтів на різних ієрархічних рівнях організації.

У доповненні міркувань П.Н. Березіна [32] та розроблених критеріїв оптимізації агрофізичних властивостей В.В. Медведєвим [274], було б доцільним відпрацювати більш загальні принципи та підходи, які б віддзеркалювали в собі принципи агрофізичної самоорганізації чорноземів типових на загальнопланетарних принципах. Раціональне зерно для вирішення поставленого завдання можна знайти у роботах академіка О.А. Садовського [371–374] та сучасних розробках [*], в яких геоматеріали та геосередовища розглядаються як нелінійні ієрархічно організовані блочні системи, які еволюціонують під навантаженням по законах нелінійної механіки або синергетики та, для яких визначені характерні масштаби руйнування і відпрацьовані універсальні принципи фрактальної ділимості геосередовища та геоматеріалів.

О.А. Садовський [374–376] своїми дослідженнями в галузі геофізики виявив факт існування загальної, але маловивченої властивості гірської породи, що поки не вкладається у звичні уявлення. Проявляється це явище у тому, що руйнування гірської породи на окремоті та блоки в природних процесах призводить до певного розподілу їх за розмірами. На всіх ієрархічних рівнях виявлено єдиний принцип руйнування твердого тіла, суть якого криється у тому, що утворюються окремоті “переважаючих” розмірів, величини яких складаються в ієрархічний ряд, в основі якого лежить знаменник $\lambda=3,5-4$ ($\lambda\sim 3,8$). Загальність цієї послідовності у першому наближенні не залежить від фізико-хімічних властивостей твердих тіл.

Для ґрунтознавства підвищений інтерес представляє ділянка ієрархічного ряду з вираженими максимумами в області міліметрового діапазону, що відповідає розмірам: 0,08 мм; 0,28; 1; 3,8; 15–17 та більше 50 мм.

* Нелинейная механика геоматериалов и геосред / отв. ред. Л.Б. Зуев, Рос. акад. наук. — Сиб. отдел. Инст. физики прочности материалов. — Новосибирск: Изд-во “Гео”, 2007. — 235 с.

Працями фізико-технічного інституту ім. А.Ф. Йоффе доведено, що існує певне критичне співвідношення між розміром (Р) тріщин, які виникають при деформації твердого тіла і розміром окремостей (А). Якщо співвідношення (А/Р) досягає рівня 3–5, то відбувається стадія швидкого “руйнування” фізичних тіл. Характерно те, що цей критерій у першому наближенні не залежить від природи та властивостей твердого тіла.

В своїх дослідженнях [117], нами проаналізований розподіл структурних окремостей в межах агрономічно цінного інтервалу розмірів в природних ґрунтових аналогах чорноземів різного гранулометричного складу, різної гумусованості та при різних системах обробітку. Для цього визначено розподіл структурних окремостей у метровій товщі чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого південної частини Лівобережного Лісостепу при утриманні перелогу впродовж більше 75 та 150 років та оранки впродовж 75 років, а також розподіл структурних окремостей при виконанні безполицевого обробітку 18 років (рис. 4.1).

При утриманні чорнозему у стані перелогу (більше 75 років) у гумусному горизонті (0–40 см) максимум “переважаючих” за розміром структурних окремостей утворюються в інтервалі розміру структурних окремостей 2–5 мм, другий максимум, менший за величиною, — в інтервалі розмірів 1–2 мм. Систематична оранка (більше 75 років) сприяє перегрупованню розподілу структурних окремостей, який сформовано при утриманні перелогу, на протилежний. При довгостроковому виконанні безполицевого обробітку (18 років) (рис. 4.1) максимум “переважаючих” розмірів утворюється в інтервалі розмірів структурних окремостей 1–2 мм, 2–5 мм та >10 мм.

Утворення максимумів “переважаючих” розмірів структурних окремостей 1–2 мм і 2–5 мм є характерним як для перелогу, так і для довгострокового виконання безполицевого обробітку, а підвищення вмісту окремостей розміром >10 мм властиво для довгострокової оранки та глибокого безполицевого обробітку, що об’єднує два останні варіанти та свідчить про те, що це інтенсивно оброблювані чорноземи.

Навпаки, утримання чорнозему у стані перелогу та мінімалізація обробітку призводить до того, що вміст фракцій окремостей розміром >10 мм зменшується. Аналіз вмісту структурних окремостей за розміром до глибини 100 см показує, що у перехідних горизонтах

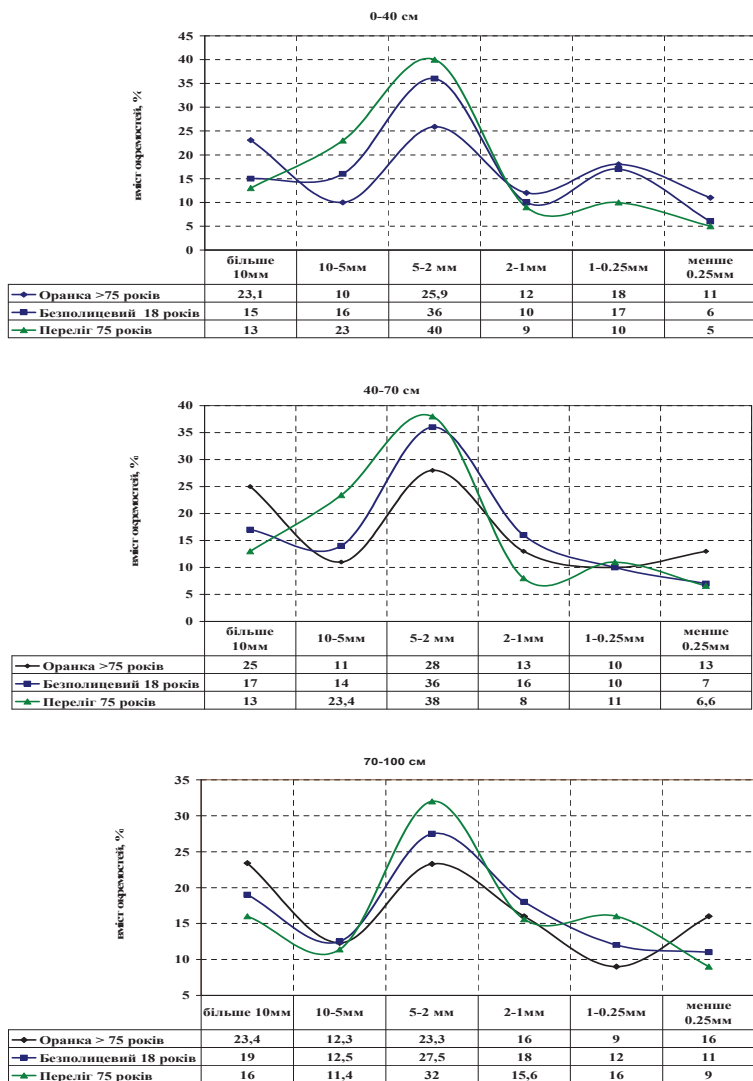


Рис. 4.1. Довгостроковий вплив способу обробки та утримання чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на перерозподіл структурних окремої частини в 0–100 см товщі

грунтової товщі (40–70 см і 70–100 см) виявлені закономірності зберігаються (рис. 4.1).

При утриманні перелогу вміст структурних окремостей розміром 2–5 мм найбільший порівняно з довгостроковою оранкою та довгостроковим безполицевим обробітком, а за систематичної оранки вміст окремостей цієї фракції знижується по всьому гумусованому горизонту. При утриманні перелогу у метровій товщі підвищується вміст структурних окремостей розміром >5 мм, а при оранці відбувається збільшення вмісту структурних окремостей 0,25–1 і $<0,25$ мм.

Результати аналізу показують, що при утриманні чорнозему типового середньогумусного у стані довгострокового перелогу у гумусному горизонті співвідношення структурних окремостей було: 5–20 мм — 9,5 %, 2–5 мм — 57,3 %, 0,5–2 мм — 27,5 %, $<0,25$ мм — 5,7 %, а при довгостроковій оранці вміст агрегатів 2–1 та 2–5 мм знижувався на 18,5 % та 15,7 %. Значно підвищувався вміст агрегатів >5 мм. Ці зміни впливають на величину коефіцієнта структурності, значення якого знижується у гумусному горизонті (0–40 см) до $K=3,8$ –4,7. Співвідношення груп агрегатів у ґрунтовій суміші становило: 5–20 мм — 22,6 %, 0,25–5 мм — 84,8 %, $<0,25$ мм — 5,7 %. Якщо співвідношення агрегатів 2–5 мм та 1–2 мм при утриманні перелогу становило 2 до 1, то при оранці воно зривалося до 1,2 до 1.

Довгострокове виконання безполицевого обробітку (18 років) вплинуло на структурний стан гумусного горизонту чорнозему: вміст окремостей розміром 2–5 мм становив 45,9 %, а це на 11,5 % менше, ніж при утриманні перелогу та на 7,1 % більше, ніж при виконанні оранки.

Дослідження показують, що утримання чорнозему типового в стані перелогу впливає на структурний стан не тільки гумусного горизонту, але і на перехідні горизонти ґрунтової товщі: 40–70 см та 70–100 см. На перелозі у товщі 40–70 см окремостей розміром 2–5 мм було на 10 % більше, а розміром $<0,25$ мм на 4,2 % менше, ніж при оранці. Окремостей розміром 0,5–3 мм на перелозі — 52,8 %, при оранці — 47,5 %; а вміст агрономічно цінних агрегатів 0,25–10 мм у першому випадку був вищим на 9 %, що вплинуло на коефіцієнт структурності: $K_{ст}=4,8$ та $K_{ст}=2,8$ відповідно.

У товщі ґрунту 70–100 см при утриманні перелогу вміст окремостей розміром 20–5 мм становив 37,5 % проти 21,5 % при оранці. Вміст окремостей 2–5 мм був однаковим, а окремостей розміром 0,25–2 мм

при оранці було більше на 10 %. Істотним є підвищення вмісту агрегатів розміром $<0,25$ мм, якщо при утриманні перелогу їх містилося 5,2 %, то при виконанні оранки — 12,9 %, що у 2,6 раза більше. Вміст структурних окремоостей розміром 0,5–3 мм у товщі 70–100 см при утриманні перелогу знизився на 8 %, а коефіцієнт структурності в обох випадках залишився однаковим $K_{ст}=2,5-2,9$. Важливим для розвитку рослин є оптимальне співвідношення структурних окремоостей у гумусному горизонті. При утриманні перелогу у товщі 40–70 см воно становило: 5–20 мм — 17,9 %, 2–5 мм — 77,3 %, $<0,25$ мм — 8,8 %; при оранці: 22,4 %, 65,1 %, 12,5 % відповідно, а склад суміші агрегатів у горизонті 70–100 см становив: 37,5 %, 57,3, 5,7 % та 21,5, 65,6, 12,9 % відповідно до обробіток. При утриманні перелогу суміш структурних окремоостей була не оптимальною за вмістом агрегатів розміром 0,25–5 мм, а за оранки вміст окремоостей $<0,25$ мм наближається до свого граничного значення (15 %). У товщі 70–100 см при утриманні перелогу різко підвищувався вміст структурних окремоостей 5–20 мм, а на оранці розміром $<0,25$ мм.

Вміст окремоостей розміром 0,5–3 мм знизився до 45,7 %, що менше ніж при утриманні перелогу на 21,9 %. Коефіцієнт структурності змінювався в інтервалі $K=3,6-4,6$, що дещо вище, ніж за оранки та значно нижче, ніж при утриманні перелогу. Співвідношення окремоостей за розміром в гумусному горизонті становило: 5–20 мм — 27,5 %, 2–5 мм — 45,9 %, 0,25–2 мм — 22,5 % та $<0,25$ мм — 4,4 або 27,5 % (5–20 мм), 68,1 % (2–5 мм), 4,4 % ($<0,25$ мм).

Якщо взяти до уваги гіпотетично оптимальну суміш структурних окремоостей, то можна дійти висновку, що довгострокова оранка (більше 75 років) та безполицевий обробіток (18 років) формують, на перший погляд, однакові за співвідношенням суміші структурних окремоостей, але відсоток окремоостей розміром 2–5 мм, у випадку безполицевого обробітку, був значно вищим. Аналогічні дослідження проведено на чорноземах типових малогумусних легкосуглинкових в умовах лівобережної частини Лісостепу України. Виявлено, що закономірності встановлені на чорноземах типових середньогумусних легкоглинистих зберігаються на дещо нижчому кількісному рівні (рис. 4.2).

Нами проаналізовано вплив способу обробітку та утримання чорнозему на рівень зв'язку між структурними окремоостями при перегрупованні структурних окремоостей різного розміру в орному

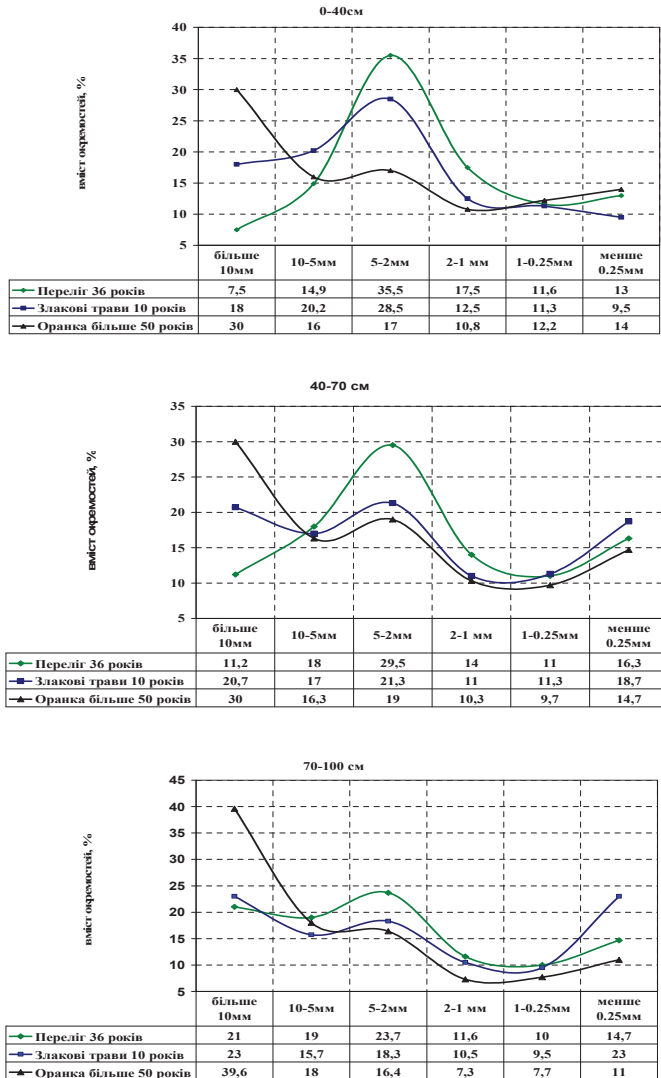


Рис. 4.2. Довгостроковий вплив способу обробки та утримання чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового лівобережної частини Лісостепу України на перерозподіл структурних окремістей в 0–100 см товщі

шарі (0–30 см) чорнозему типового. Аналіз показав, що при утриманні перелугу ступінь спряженості між групами окремостей вища, ніж у розорюваних ґрунтах. Високий рівень парних коефіцієнтів кореляції виявився між перемінними X_1 , X_2 , X_3 , X_6 та X_7 . Значення коефіцієнтів кореляції досягають рівня сильної прямої кореляції ($R=0,72-0,96\pm 0,03$), що свідчить про взаємозв'язок між групами структурних окремостей розміром >5 мм та 2–5 мм, 0,5–3 мм, 0,5–2 мм. Коефіцієнт структурності (Кст) знаходиться в прямій залежності від вмісту окремостей розміром 2–5 мм та 0,5–3 мм. Між вмістом окремостей >5 мм та Кст кореляційний зв'язок обернений ($R=-0,77\pm 0,03$), а між групами агрегатів прямий на рівні сильної кореляції: $R=+0,75-0,97\pm 0,03$, (рис. 4.3). Довгострокове застосування

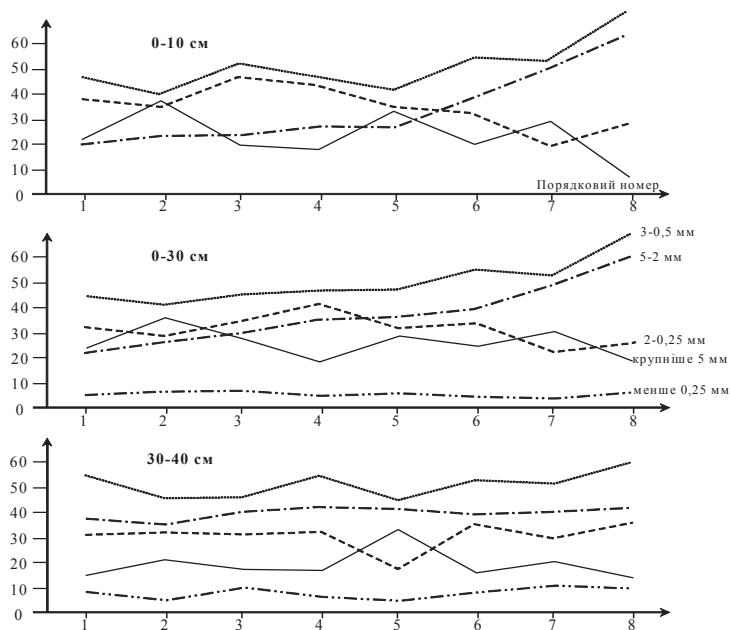


Рис. 4.3. Вплив способу обробітку та утримання на перегрупування структурних окремостей різного розміру в 0–30 см шарі чорнозему типового середньогумусного: оранка на 22–32 см — понад 75 років (1), 10 років в умовах досліджу (2); безпліцевий обробіток: на 22–32 см (3), 10–12 см (4), 5–6 см (5). Безпліцевий обробіток на 22–32 см 18 років у виробництві (6). Переліг: 10 років (7), 150 років (8)

оранки змінило як силу, так і напрямок кореляційних зв'язків між групами структурних окремоностей різного розміру у метровій товщі чорнозему.

Між перемінними X_2 та X_7 зберігся обернений кореляційний зв'язок на сильному рівні ($R=-0,78\pm 0,03$), тоді як між X_6 та X_7 зв'язок послаблюється до кореляції середнього рівня. Величина коефіцієнта структурності значною мірою залежить від перемінних X_2 та X_5 (групи агрегатів 0,5–3 та $<0,25$ мм). Якщо при утриманні перелогу головні компоненти припадають на групи окремоностей розміром 2–5 мм і 0,5–2 мм, то при виконанні безполицевого обробітку на фракції структурних окремоностей розміром 0,5–3 мм та 0,5–2 мм. Це свідчить про істотність впливу довгострокового виконання безполицевого обробітку на зміну агрофізичної побудови чорнозему у напрямку формування оптимального співвідношення структурних окремоностей різного розміру, які характерні для утримання чорнозему в стані довгострокового перелогу.

Нами проведено аналіз структурно-агрегатного стану в гумусному горизонті чорнозему типового, який знаходиться в стані агрофізичної деградації. Виявилося, що розподіл структурних окремоностей при сухому розсіві в межах агрономічно цінного інтервалу докорінно відрізняється від розподілу окремоностей при утриманні перелогу. Так, у шарі ґрунту 0–10 см максимуми вмісту агрегатів, переважаючих за розміром, утворилися в інтервалі розмірів 1–2 мм, 5–7 мм та >10 мм. Шари ґрунту 10–20 см, 20–30 см та 30–40 см мають деяку відмінність: максимуми кривих розподілу співпадають із розмірами окремоностей 0,5–1 мм та 3–5 мм. Середньозважений геометричний діаметр агрегатів становив — 1,44–1,84 мм під перелогом, 1,40–1,71 мм при безполицевому обробітку впродовж 18 років та 1,35–1,58 мм при довгостроковій оранці. Окремоостей 2–5 мм у гумусному горизонті містилося — 31–49 %; >5 мм — 12,6–35,1 %; 0,5–3 мм — 34,2–64,2 %. Агрономічно цінних агрегатів (0,25–10 мм) — 72,2–86 %, а агрегатів $<0,25$ мм — 3–7 %. Співвідношення груп окремоностей розміром більших за 5,0 мм, 2–5 мм, 0,25–2 мм та $<0,25$ мм було: 24,8 %; 39,6 %; 30,3 %; 5,3 % відповідно до розмірів. Якщо взяти групи агрегатів 2–5 мм та 0,25–2 мм, то суміш матиме співвідношення на рівні 24,8 %, 69,9 та 5,3 %, що мало чим відрізняється від співвідношення при довгостроковій оранці.

За таких умов реалізується критерій руйнування твердого тіла, коли у ґрунті утворюється більше 50 % агрегатів розміром 2–5 мм,

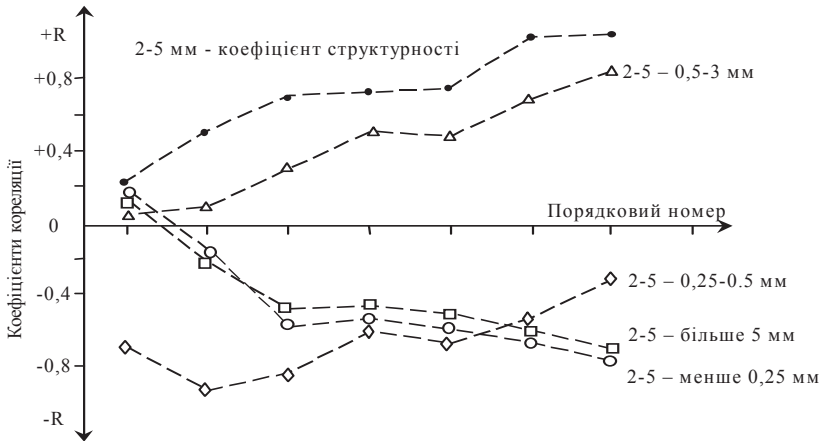
а співвідношення “переважаючих” розмірів окреможестей до товщини шпарин між ними відповідає критичному співвідношенню. Добре відомо, що це характерно для цілинних та переліжних аналогів, коли навіть під незначним зусиллям руки ґрунт розсипається на зернисто-мілкогрудкуваті окреможесті розміром 1–5 мм.

Про дискретний характер зміни структурного стану у гумусному горизонті у часі свідчить зміна вмісту груп структурних окреможестей під впливом різних способів обробітку чорнозему типового, рис. 4.4А. Розрахунок кореляційного зв’язку між різними групами агрегатів у шарі 0–40 см показав, що між фракціями 1–5 мм, 0,5–3 мм існує тісний зв’язок на рівні: $R = -0,90 \dots -0,97 \pm 0,02$, а криві на графіку мають дзеркальне відображення.

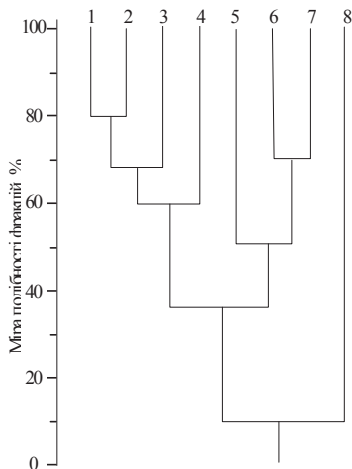
У шарі 30–40 см, де практично виключено пряму дію обробітку, характер ліній на графіку рівний, кореляційний зв’язок між групами агрегатів 2–5 мм та 0,5–3 мм прямий ($R = +0,55 \dots 0,58 \pm 0,02$). Між агрегатами 0,5–3 та 0,5–2 мм зв’язок прямий на рівні слабкої кореляції ($R = 0,13 \pm 0,02$). Залежність між групами агрегатів розміром >5 мм, 0,5–2 мм та $<0,25$ мм була оберненою на сильному рівні ($R = -0,80 \dots 0,85 \pm 0,02$), а між агрегатами 0,5–2 мм та $<0,25$ мм зв’язок прямий на рівні сильної кореляції.

Нами проведено чисельну класифікацію (рис. 4.4Б) подібності гумусних горизонтів за різних способів обробітку та утримання з застосуванням кластерного аналізу. Класифікація проводилась за такими ознаками: X_1 — агрегати >5 мм, X_2 — 2–5 мм, X_3 — 0,5–3 мм, X_4 — 0,25–2 мм. Об’єкти під номерами 1–7 і 8 подібні між собою на 10 % рівні, що логічно і свідчить про докорінну різницю в структурно-агрегатній організації гумусного горизонту чорнозему при утриманні цілини та чорнозему, який інтенсивно обробляється. Зразки під номерами 1, 2, 5, 4 і 3, 6, 7 склали два кластери, які подібні на рівні 38–48 %. Найбільш близькі між собою зразки 1 і 2 — подібність на рівні 80–85 %, а також 6 і 7 — подібність 68–70 %. Зразки 4–5 утворюють кластер з об’єктами 1 і 2 на рівні 60–70 % подібності, а зразки 6 і 7 об’єднуються із зразком 3 на рівні 50 %.

Отже, ґрунтозахисні технології вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на безполіцевому обробітку, при достатньому внесенні мінеральних і органічних добрив так і без них, здатні відтворювати агрофізичні властивості чорнозему типового в напрямку їх формування при утриманні перелогу та цілини досить



А



Умовні позначення:

1. Оранка - 75 років
2. Оранка - 10 років
3. Безполіцевий на 22-32 см - 10 років
4. Безполіцевий на 10-12 см 10 років
5. Безполіцевий на 5-6 см 10 років
6. Безполіцевий на 22-32 см 18 років
7. Переліг 10 років
8. Переліг понад 150 років

Б

Рис. 4.4. Вплив способу обробки та утримання чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на міру подібності (Б) та рівень кореляційних зв'язків (А) між фракціями структурних окремоностей різного розміру в гумусному горизонті

швидкими темпами. Характер розподілу структурних окремостей у межах агрономічно цінного інтервалу агрегатів є матрицею, яка визначає агрофізичну самоорганізацію та саморегуляцію чорноземів типових лівобережної частини Лісостепової зони України. Зміну якісного та кількісного станів ґрунтової структури чорноземів типових можна оцінювати за переміщенням максимумів “переважаючих” розмірів структурних окремостей відповідно до ряду дискретних розмірів структурних окремостей у межах агрономічно цінного інтервалу.

4.2. Зміна структурного стану чорноземів типових в агроценозах різноротаційних сівозмін

4.2.1. Формування структурного стану чорнозему в 10-пільній сівозміні. Відтворення родючості чорнозему за В.Р. Вільямсом [69] неможливе без відтворення його структури. Як відомо, В.Р. Вільямс [70] розробив систему обробітку ґрунту, в якій основним засобом відтворення структурно-агрегатного стану було внесення органічних добрив і посів багаторічних трав. Основним обробітком у сівозміні при цьому рекомендувалась глибока оранка. Першим, хто піддав сумніву правильність такого підходу до відтворення структури, був Т.С. Мальцев [258]. В основу своєї концепції Т.С. Мальцев [263] поклав ідею про те, що два поля у сівозміні, в яких посіяні багаторічні трави, не здатні відтворити та покращити структуру настільки, щоб в цілому підвищити родючість ґрунту. Вперше було поставлено питання про те, що відтворювати структурний стан ґрунту повинні не тільки багаторічні, але й однорічні рослини у сівозміні. Вперше було показано, що необроблений ґрунт, замульчований рослинними рештками відтворює структурний стан не гірше, ніж під впливом багаторічних трав.

Майже через 40 років В.В. Медведевим [274] висловлена думка про те, що за рахунок покращеної технології обробітку лише під окремі культури сівозміни, відтворити негативні наслідки інтенсивної оранки неможливо. При цьому можливе покращення деяких агрофізичних режимів і будови окремих елементів оброблюваного ґрунту, але досягти докорінного виправлення наслідків систематичної оранки неможливо. До аналогічного висновку у своїх дослідженнях прийшли О.Ф. Гнатенко [102], М.К. Шидула, О.В. Демиденко [447–451].

Однією з умов покращення структурно-агрегатного стану чорнозему є позитивний баланс органічної речовини [427, 428, 473], коли

враховується різниця між приходом гумусу від кореневих і пожнивних решток, органічних добрив та умовами його розкладу. За умов, коли баланс позитивний, слід чекати покращення структурно-агрегатного стану. Не менш важливим є якісний стан гумусу [236]. Якщо у складі гумусу розширюється співвідношення між гуміновими та фульво-кислотами, а кількість поглинутих дво- і тривалентних катіонів не знижується, то можна чекати поліпшення структурного стану. Застосування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, в основі яких лежить обробіток ґрунту без обертання скиби, залишення на поверхні поля стерні та пожнивних решток, з використанням у якості органічних добрив гною і побічної продукції значно покращує агрофізичні властивості чорноземів [274, 453].

Виявлено, що лише на 8–9 рік застосування безполіцевого обробітку чорнозему в структурному складі ґрунту (див. рис. 4.5) у структурному стані чорнозему відбулися докорінні зміни. В шарі ґрунту 0–10 см утворилися два максимуми “переважаючих” розмірів структурних окремостей: 0,5–0,25 мм та 1–2 мм та дещо менший максимум вмісту в інтервалі розмірів 5–7 мм.

При безполіцевих обробітках чорнозему максимумами вмісту структурних окремостей були більш вираженими порівняно з оранкою. Найпомітніші зміни у формуванні структурного складу відбулися у шарі ґрунту 10–30 см. При оранці крива розподілу структурних окремостей зберігає багатoverшинний характер і мала максимум вмісту структурних окремостей в інтервалі розмірів 1–2 мм.

Варіант різноглибинного безполіцевого обробітку мав більш виражені максимуми вмісту структурних окремостей розміром 1–2 мм та 2–5 мм. Найвищий вміст окремостей розміром 2–5 мм був при безполіцевому обробітку на 5–6 см, що свідчить про наближення структурного стану до розподілу агрегатів при утриманні перелогу. Окремостей розміром >10 мм було більше при безполіцевих обробітках на 20–22 см та 10–12 см. У шарі ґрунту 30–40 см перерозподіл структурних окремостей наближався до розподілу при утриманні перелогу: максимуми переважаючих розмірів структурних окремостей сформувалися в інтервалі розмірів 3–5 мм та менш виражений — 1–2 мм. При збільшенні інтенсивності обробітку чорнозему крива розподілу структурних окремостей за розміром була спрямленою, а “переважаючі” максимуми в розподілах структурних окремостей менш виражені.

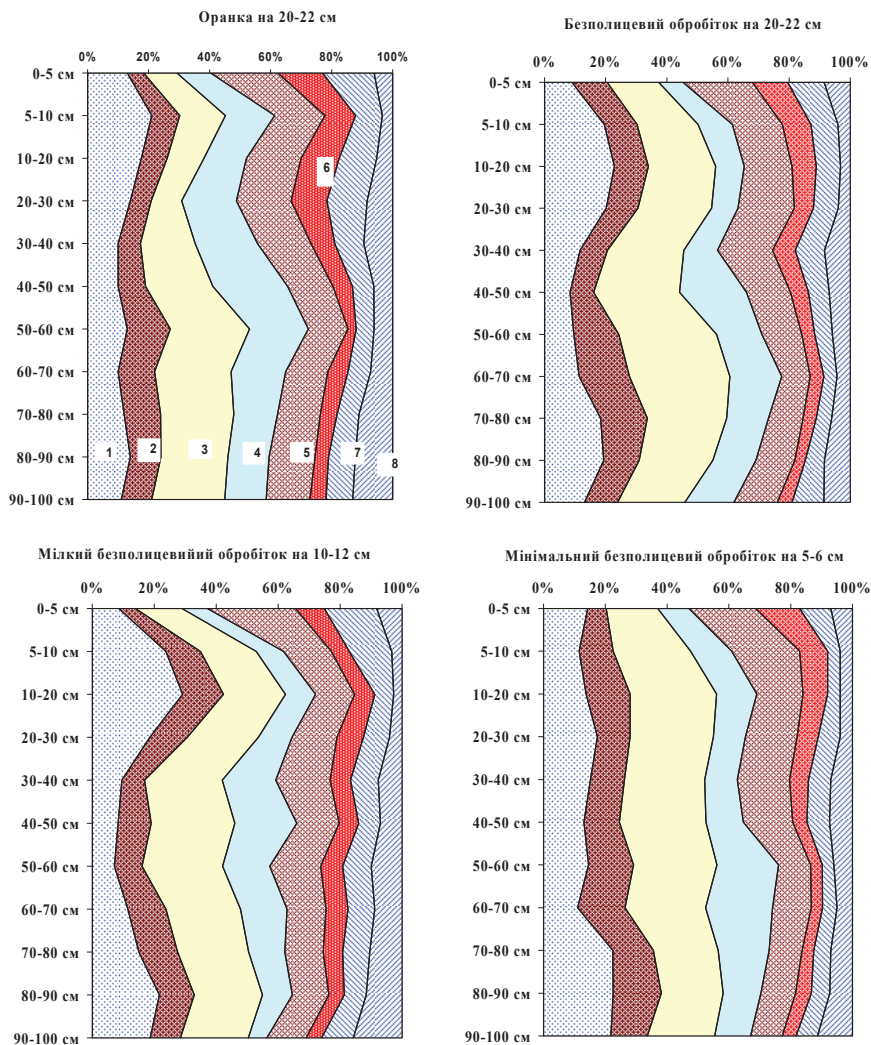


Рис. 4.5. Вплив способу обробітку на структурний стан метрової товщі чорнозему типового середньогумусного легкоглинистоко при вирощуванні пшениці озимої: 1 — більше 10 мм; 2 — 5–10 мм; 3 — 3–5 мм; 4 — 2–3 мм; 5 — 1–2 мм; 6 — 0,5–1 мм; 7 — 0,25–0,5 мм; 8 — менше 0,25 мм

В цілому співвідношення між групами структурних окремостей різних за розміром у нижній частині гумусованого горизонту (30–40 см) було: за систематичної оранки 23,5 % (20–5 мм); 26,7 % (5–2 мм); 43,6 % (2–0,25 мм); 6,2 % (менше 0,25 мм) та 30,7 %; 29,7 %; 34,8 %; 4,8 % відповідно до фракцій при безполицевому обробітку. Співвідношення окремостей 5–2 мм та 2–0,25 мм при безполицевих обробітках на різну глибину в гумусному горизонті було більш вузьким, тоді як при оранці воно розширювалося та схилялося на користь більш мілких фракцій структурних окремостей.

В гумусному горизонті чорнозему при безполицевих обробітках перерозподіл структурних окремостей наближався до перерозподілу при утриманні перелогу, а максимум переважаючих розмірів структурних окремостей сформувався в інтервалі розмірів 3–5 мм, а менш виражений — 1–2 мм. При збільшенні інтенсивності обробітку чорнозему за глибиною крива розподілу структурних окремостей була більш спрямленою, а максимумами в розподілах структурних окремостей менш виражені (рис. 4.6).

У товщі ґрунту 40–70 см показники оструктуреності були приблизно однаковими: окремостей розміром 20–5 мм — 19,6–23,7 %; 5–0,25 мм — 70,6–73 %, а <0,25 мм — 5,5–8,5 %.

При оранці на мілкому безполицевому обробітку вміст грудочок 3–0,5 мм був у межах 50–53 %, агрономічно цінних агрегатів містилося — 82,3–85,4 % при значеннях коефіцієнта структурності: $K_{ст.} = 4,6–4,8$. При глибокому та мінімальному безполицевому обробітку показник структурності становив: $K_{ст.} = 5,3–5,8$. При мінімалізації безполицевих обробітків у товщі ґрунту 70–100 см підвищувалася грудкуватість на 5,7–5,5 % та 11,4 % відповідно. Співвідношення окремостей 5–2 мм та 0,25 мм вирівнювалося, а кількість пилюватих часток зростала до 7,7–13,2 %, а вміст агрономічно цінних агрегатів незалежно від обробітку залишався у межах 68,7–75,2 %. Співвідношення між окремими групами структурних окремостей було таким: 12,5 % (20–5 мм), 78 % (5–0,25 мм), 9,5 % (<0,25 мм) при оранці; 20,6 %; 36,6 %; 35,0 %; 8,4 % при глибокому безполицевому обробітку; 16,9 %; 42,3 %; 33,1 %; 9,5 % при мілкому безполицевому обробітку на 10–12 см та 15,9 %; 36,6 %; 40,8 %; 6,7 % при безполицевому обробітку на 5–6 см відповідно до розмірів фракцій структурних окремостей.

На 10 рік від початку досліджень встановлено вплив різних способів обробітку чорнозему на зміну структурного стану чорнозему

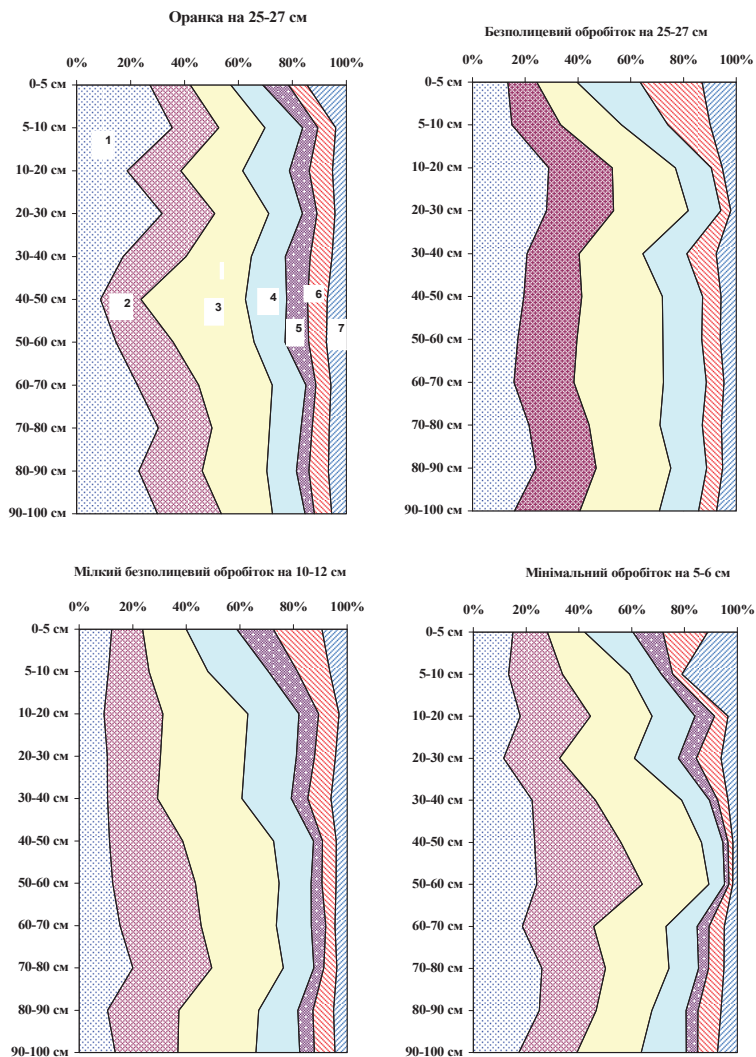


Рис. 4.6. Вплив способу обробітку на структурний стан 0–100 см шару чорнозему типового середньогумусного при вирощуванні кукурудзи на зерно, 1992 р.: 1 — >10 мм; 2 — 5–10 мм; 3 — 2–5 мм; 4 — 1–2 мм; 5 — 0,5–1 мм; 6 — 0,25–0,5 мм; 7 — <0,25 мм

(див. рис. 4.5). Внесений гній у кількості 30 т/га та довгостроковість виконання різних способів обробітку ґрунту вплинули на перерозподіл структурних окремоностей у гумусному горизонті. При оранці у шарі ґрунту 0–10 см підвищився вміст структурних окремоностей розміром 0,25–0,5 мм і утворився максимум на кривій розподілу в інтервалі розмірів 1–2 мм. При глибокому та мілкому безполицевому обробітках відбулося укрупнення структурних окремоностей за розміром (рис. 4.7).

Максимуми “переважаючих” розмірів структурних агрегатів відповідають фракціям окремоностей розміром 0,25–0,5 мм, 1–2 мм, 2–5 та >10 мм. При мінімальному безполицевому обробітку максимум “переважаючих” розмірів структурних окремоностей сформувався в інтервалі розмірів 2–5 та 2–1 мм. У шарі ґрунту 10–30 см збереглися основні закономірності формування кривих розподілу вмісту структурних окремоностей за розміром, що проявляється в утворенні двох, майже рівних за абсолютним значенням, максимумів “переважаючих” розмірів окремоностей в інтервалах розмірів 1–2 мм та 2–5 мм.

При оранці збереглася основна тенденція розподілу окремоностей: найбільше було агрегатів розміром 1–2 мм, дещо меншим був вміст окремоностей 2–5 мм, а вміст грудкуватої фракції різко підвищувався. (рис 4.6). Аналогічні закономірності розподілу агрегатів були у шарах ґрунту 20–30 см і 30–40 см. Характер розподілу структурних окремоностей в шарах ґрунту 10–30 см і 30–40 см відповідав перерозподілу при утриманні перелогу незалежно від способу обробітку але при мінімалізації обробітку явище оструктурування ґрунту посилювалося.

Співвідношення структурних окремоностей різної величини в гумусному горизонті залежало від системи обробітку: при оранці грудочок розміром 5–20 мм містилося 36,8 %, 2–5 мм — 27,1 %, 0,25–2 мм — 29,2 %, <0,25 мм — 7 %. При глибокому безполицевому обробітку: 29,4 %, 29,7 %, 34,2 % та 6,7 % відповідно, що можна вважати майже однаковим з тою лише різницею, що зменшився вміст фракцій 5–20 мм на 7,4 % та збільшився вміст грудочок 2–5 мм на 2,6 %, а структурних окремоностей розміром 0,25–2 мм на 5 %. Вміст фракцій 0,5–3 мм при глибоких обробітках становив 41 % та 45 %, а агрономічно цінних агрегатів містилося 66 % та 74 %, що вплинуло на коефіцієнт структурності ($K_{ст}=2,1$ проти $K_{ст}=2,9$) відповідно до обробітків.

За мілкового безполицевого обробітку на 10–12 см співвідношення структурних окремоностей змінилося: грудочок розміром 5–20 мм стало

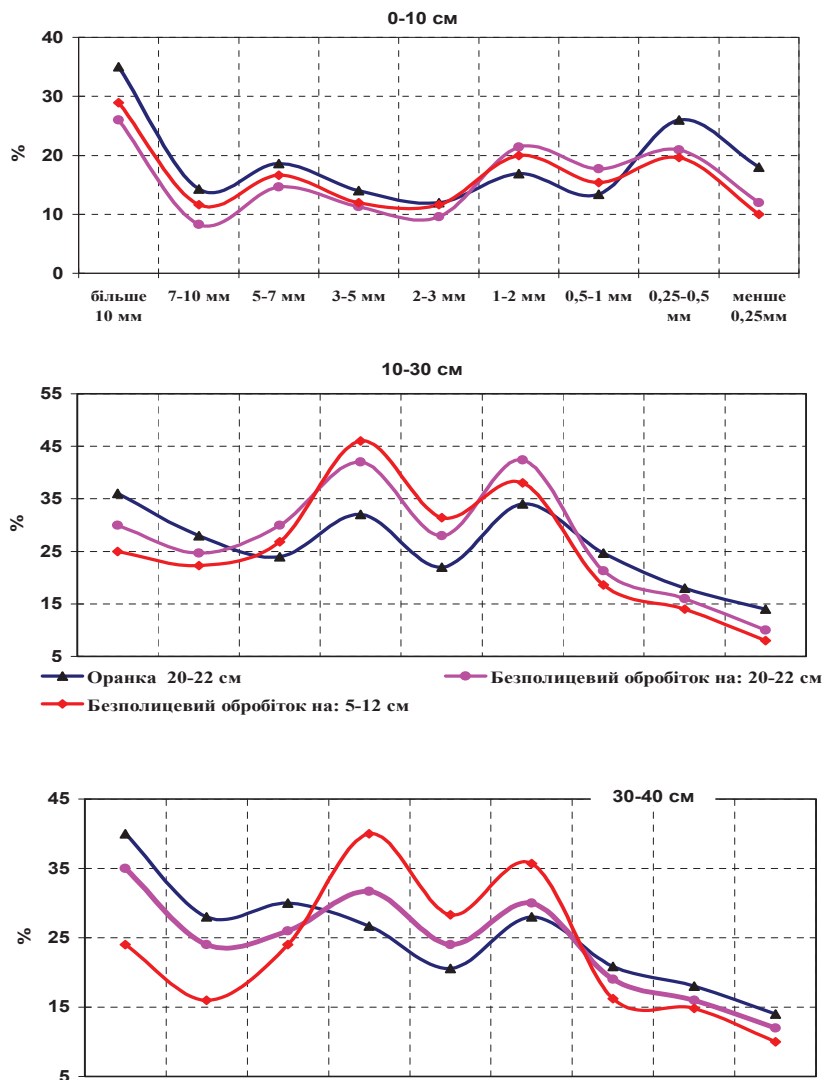


Рис. 4.7. Вплив способу обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на перерозподіл структурних окремоностей за розміром у гумусному горизонті при вирощуванні кукурудзи на зерно на 10-й рік проведення досліджень

менше на 19,1 % та на 11,3 %; розміром 2–5 мм та 0,25–2 мм стало більше на 7,6 % та 11,4 %. Значно збільшився вміст структурних окремоностей розміром 0,5–3 мм — 13,7 % та 9,6 % відповідно до оранки та глибокого безполицевого обробітку. Найкращим структурний стан був на варіанті безполицевого обробітку на 5–12 см — $K_{ст} = 5,2$ проти $K = 2,2$ –3,4 при глибоких обробітках.

Структурний стан шару ґрунту 30–40 см найбільш оптимальним був при мілкому безполицевому обробітку. Грудочок розміром 0,5–3 мм було на 10,0 %, 12,9 % та 9,4 % більше, ніж при оранці, глибокому та мінімальному на 5–6 см обробітках, а агрономічно цінних агрегатів на 5,8 %, 12,1 % і 8,9 % відповідно до варіантів. Коефіцієнт структурності у шарі ґрунту 30–40 см при безполицевому обробітку на 10–12 см був вищим: 4,8 проти 2,9–3,4 при глибоких обробітках.

Співвідношення структурних окремоностей у шарі ґрунту 40–70 см при оранці, глибокому (25–27 см) та мілкому (10–12 см) безполицевих обробітках було однаковим: 24–27,6 % (20–5 мм), 67,4–68,3 % (5–0,25 мм) та 5–6,7 % (<0,25 мм). У сумі агрегатів розміром 0,25–5 мм при безполицевих обробітках більше було агрегатів розміром 2–5 мм — 41,1–45,4 % проти 22–29,7 % при оранці. Грудочок 0,5–3 мм найбільше було при оранці 55,2 % та глибокому безполицевому обробітку 53,8–55,2 %, проти 48,4 % при мілкому безполицевому обробітку.

При безполицевому обробітку на 5–6 см окремоностей розміром 5–20 мм було майже у два рази більше, ніж на інших варіантах досліді — 40,1 % проти 24–27,6 %. У сумі окремоностей 0,25–5 мм переважали агрегати розміром 2–5 мм, а грудочок 0,5–3 мм було 38,8 %. Агрономічно цінних агрегатів найбільше було при безполицевих обробітках на 25–27 см та 10–12 см — 82,4–83,3 % проти 75,4 % при безполицевому на 5–6 см та 78 % при оранці, що вплинуло на коефіцієнт структурності $K_{ст} = 4,3$ –4,8 та $K_{ст} = 3,1$ –3,8 відповідно.

У товщі чорнозему 70–100 см структурний стан погіршувався. При мілкому безполицевому обробітку структурний стан був найкращим: грудочок розміром 5–20 мм була найменша кількість — 28,8 % проти 31,7 % ; 35,6 %; 40,6 % при глибокому безполицевому, мінімальному на 5–6 см обробітках та оранці. Грудочок розміром 0,25–5 мм містилося — 66,6–67,8 % при безполицевому обробітку на 5–12 см проти 53,6–62,5 % при глибокому безполицевому обробітку та оранці. Окремостей 0,5–3 мм найбільше було при безполицевому обробітку на 10–12 см — 47,3 % проти 37–40,9 % на інших варіантах.

Вміст агрономічно цінних агрегатів найвищим виявився при безполицевому обробітку на 10–12 см — 84,1 % проти 74,7; 70,3 та 66,1 % при глибокому, мінімальному безполицевому обробітках та оранці, що вплинуло на коефіцієнти структурності: $K_{ст}=4,2$ проти $K_{ст}=2-2,4$ відповідно.

Визначення структурного стану чорнозему типового при вирощуванні кукурудзи на зерно (0–100 см) у період досягання культури (кінець вересня) показало, що у гумусному горизонті при оранці збільшується грудкуватість на 15,9 % (5–20 мм), уміст окремоостей розміром 5–2 мм зменшується на 10,2 %, а вміст окремоостей 0,25–2 мм зростає на 6,1 % у порівнянні з безполицевим обробітком на 10–12 см. Окремоостей розміром 0,5–3 мм при оранці було більше на 9,7 %. Агрономічно цінних агрегатів при виконанні оранки було менше — 61,2 % проти 82,7 % при безполицевому обробітку. За рахунок збільшення грудкуватості при оранці коефіцієнт структурності був меншим: $K_{ст}=2,7$ проти $K_{ст}=5,2$ при безполицевому обробітку на 5–12 см. Структурний стан у шарі 30–40 см від початку літа до осені залишився без особливих змін як при оранці, так і при безполицевому обробітку.

Співвідношення структурних окремоостей у товщі чорнозему 40–70 см на кінець вегетації при оранці та безполицевому обробітку було однаковим. Структурний стан, порівняно з початком вегетації, дещо погіршився: при безполицевому обробітку кількість агрономічно цінних агрегатів зменшилася на 6,1 %, а коефіцієнт структурності знизився до значення $K_{ст}=3,6$ (на початку літа 4,8). При оранці змін у структурному стані не відбулося. У шарі ґрунту 70–100 см при безполицевому обробітку структурний стан, порівняно з початком вегетації кукурудзи, погіршився. Так, уміст агрономічно цінних агрегатів зменшився на 16 %, а коефіцієнт структурності знизився у 2 рази. Це відбувається за рахунок підвищення вмісту структурних окремоостей розміром $<0,25$ мм: вміст зазначеної фракції до осені збільшився у 2,4 рази. Якщо порівняти структурний стан шару ґрунту гумусного горизонту у вересні зі станом на початку червня, то виявляється, що при оранці показники структурності дещо підвищилися в основному за рахунок зниження грудкуватості на 5,1 % та підвищення вмісту грудочок 2–5 і 0,25–2 мм на 2–3 %.

Мінімізація обробітку чорнозему до 5–12 см істотно впливає на вміст мілких фракцій структурних окремоостей розміром 0,5–1 мм,

0,25–0,5 мм і <0,25 мм. Порівняно з систематичною оранкою в гумусному горизонті (0–40 см) структурних окремоостей зазначеного розміру було менше при безполицевому обробітку на 22–32 см у 1,15 раза, а при мілкому на 10–12 см і мінімальному на 5–6 см у 1,25–1,30 раза. У більш глибоких шарах чорнозему (40–100 см) виявлена закономірність зберігається. При безполицевому обробітку на 5–12 см вміст структурних окремоостей <0,25 мм зменшується в 1,5–2 рази, а з глибиною зростає, але залишається нижчим у 1,2–1,8 раза, ніж за систематичної оранки.

При поверхневому загортанні післязливних, корневих решток, органічних і мінеральних добрив у ґрунтовій товщі чорнозему створювалися умови, які покращували режим зволоження й активізували ґрунтову біоту, що, у свою чергу, підвищує фізіологічну активність корневих систем сільськогосподарських культур метрової товщі ґрунту. Мінімізація основного обробітку до 10–12 см підвищувала біогенність ґрунтової товщі більшою мірою і на більшу глибину порівняно з глибокими обробітками на 22–32 см як при оранці, так і глибокому безполицевому обробітку. Так, за мінімізації обробітку до 5–12 см суттєво зростає вміст найбільш цінних, в агрономічному розумінні, структурних окремоостей — 2–5 мм та 1–2 мм. У порівнянні з контролем, де добрива не вносились, уміст зазначених фракцій структурних окремоостей у шарі 0–100 см підвищився на 15–20 %, а порівняно з варіантом, де виконувалась оранка на фоні органо-мінеральної системи удобрення на 10–15 %.

Отже, оструктурування чорнозему від застосування ґрунтозахисних технологій, які базуються на безполицевих обробітках, значно вищий, ніж від оранки. Мінімізація обробітку чорнозему типового до 5–12 см упродовж 10-ти років із унесенням середньої дози мінеральних добрив і 12 т/га гною за сівозміну у найбільшій мірі сприяє оструктуреності гумусованого горизонту чорнозему в напрямку оструктурування при утриманні перелогу та цілини. Відбувається перегрупування структурних окремоостей у межах агрономічно цінного інтервалу в напрямку утворення найцінніших структурних окремоостей розміром 2–5 мм, що надає гумусованому горизонту чорнозему додаткових стійких агроекологічних властивостей, які лежать в основі розширеного відтворення його родючості.

4.2.2. Довгостроковий вплив способу обробітку на структурний стан чорнозему типового. Починаючи з 2001 року, в польовому стаціонар-

ному досліді по вивченню ефективності впливу різних способів обробітку на продуктивність короткоротаційних сівозмін різного типу та зміну агрофізичного стану чорнозему типового малогумусного, гній, який вносився у кількості 6 т/га, був замінений на побічну продукцію, яка вносилася в кількості 7 т/га на фоні мінеральних добрив $N_{62}P_{66}K_{81}$. Виявлено, що на структурний стан чорнозему впливав як спосіб обробітку, так і тип сівозміни (рис. 4.8).

При насиченні сівозміни багаторічними травами за систематичної оранки вміст агрономічно цінних структурних окремоостей був на рівні 75–80 %, а коефіцієнт структурності становив: $K_{ст}=3,0-4,0$. За довгострокового безполицевого обробітку показники структурного стану найкращими були в сівозміні з багаторічними травами але вони поступалися показникам при оранці як за вмістом агрономічно цінних структурних окремоостей, так і значенням коефіцієнта структурності.

В 5-пільній сівозміні з горохом найкращі показники оструктуреності були в 0–10 см шарі ґрунту, а з глибиною в шарах ґрунту 10–30 і 30–40 см стан структури погіршувався як за вмістом агрономічно цінних агрегатів, так і за коефіцієнтом структурності порівняно з оранкою. Довгострокове (більше 35 років) виконання безполицевого обробітку в 5-пільній сівозміні з багаторічними травами забезпечило більш високий рівень структурного стану в 0–30 см шарі чорнозему.

Вміст агрономічно цінних структурних окремоостей був на рівні 75–77 %, коефіцієнт структурності не поступався значенням при оранці. Частка структурних окремоостей розміром 2–5 мм у сумі агрономічно цінних агрегатів мала стійку тенденцію до зростання і досягала 58 % у шарі ґрунту 10–30 см.

У середньому за 2010–2012 рр. найвища оструктуреність 0–30 см шару чорнозему була за довгострокового виконання поверхневого обробітку: агрономічно цінних структурних окремоостей містилося 71,4–73,5 %, а $K_{ст}=2,50-2,75$, тоді як за систематичної оранки вміст агрономічно цінних агрегатів у шарі ґрунту 10–30 см був меншим на 6 %, а частка структурних окремоостей розміром 5–1 мм у сумі агрономічно цінних була вищою на 5,5 % (рис. 4.8).

Рівень оструктуреності шару ґрунту 30–40 см незалежно від способу обробітку змінювався: від $K_{ст}=2,60$ при оранці; до $K_{ст}=2,16-2,25$ при безполицевому та поверхневому обробітках. Вміст агрономічно

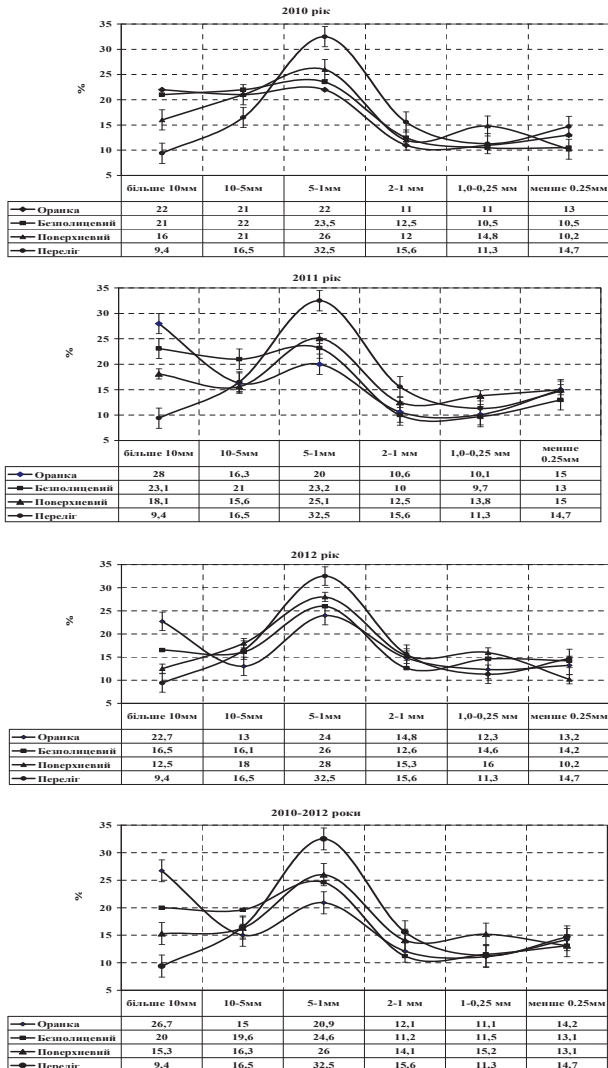


Рис. 4.8. Довгостроковий вплив способу обробітку на структурний стан 0–70 см шару чорнозему типового малогумусного при внесенні $N_{62}P_{66}K_{81} + 7$ т/га побічної продукції в середньому за 2010–2012 рр.

цінних структурних окремостей був нижчим на 3,0–3,3 %, а частка окремостей 5–1 мм була меншою на 2,3–3,3 %. Необхідно звернути увагу на те, що структурних окремостей розміром 1,0–0,25 мм при поверхневому обробітку було суттєво більше в 1,2–1,8 раза, ніж при оранці і безполицевому обробітку.

На рис. 4.8 показано вплив способу обробітку ґрунту та типу сівозміни на структурний стан різних частин метрової товщі чорнозему типового. Виявлено, що довгостроковий вплив типу сівозміни та способів обробітку впливає на оструктуреність товщі 40–70 см у більшій мірі та 70–100 см у меншій. Так, найвищим рівень оструктуреності товщі ґрунту 40–70 см незалежно від способу обробітку був у 5-пільній сівозміні з багаторічними травами, дещо погіршувався в 5-пільній сівозміні з горохом, що видно по коефіцієнту оструктуреності, який за систематичної оранки мав значення $K_{ст}=1,31–1,68$; за безполицевого обробітку $K_{ст}=1,50–2,33$; при поверхневому обробітку $K_{ст}=1,92–2,33$. Частка структурних окремостей розміром 2–5 мм у сумі агрономічно цінних агрегатів становила 55 %. Довгостроковий вплив різних способів обробітку ґрунту змінював структурний стан на глибині 70–100 см як за оранки, так і безполицевого та поверхневого обробітків, але на сам рівень оструктуреності впливав тип сівозміни: при включенні в сівозміну багаторічних трав структурний стан шару ґрунту 70–100 см покращувався найбільшою мірою.

В цілому структурний стан 0–70 см товщі чорнозему був кращим при поверхневому обробітку: $K_{ст}=2,03–3,41$ проти $K_{ст}=1,33–1,86$ за оранки та $K_{ст}=1,77–2,29$ за безполицевого обробітку. Частка структурних окремостей 2–5 мм при поверхневому обробітку становила 37,2–43,3 %, тоді як за оранки 30,6–35,8 %, а за безполицевого обробітку — 33,2–38,6 %. Уміст окремостей розміром 2–5 мм при поверхневому обробітку порівняно з оранкою був вищим на 3,7–3,8 %, що у результаті повинно забезпечувати посилену водопідйомну властивість ґрунтової товщі.

Отже, довгострокове застосування безполицевого мілкового обробітку чорнозему типового малогумусного, більшою мірою, та безполицевого глибокого обробітку, меншою мірою, моделює природний процес оструктурення в агроценозах короткоротаційних сівозмін. Метрова товща чорнозему набуває посиленої вологопідйомної здатності за рахунок утворення структурних окремостей розміром 1–0,25 мм та оптимізованої агрофізичної будови гумусового горизонту.

4.2.3. Потенціальні можливості структуроутворення за різних способів обробітку і утримання чорноземів типових лівобережної частини Лісостепу України. Виявлено, що на чорноземах типових середньогумусних легкоглинистих зміна вмісту агрономічно цінних агрегатів від довгострокової оранки до перелугу в гумусному горизонті становить 14,5 % (від 80,4 % до 65,9 %), а в 0–70 см шарі ґрунту — 17,2 % (від 64,0 % до 81,2 %). Частка агрегатів розміром 1–5 мм змінювалась на 11,1 % та 8 % відповідно горизонтам ґрунтової товщі. При цьому коефіцієнти структурності зросли відносно оранки в 1,95 раза в 0–70 см шарі ґрунту (рис. 4.9). Чорноземи типові малогумусні мали дещо інші інтервали зміни вмісту структурних окремоностей. Вміст агрономічно цінних структурних окремоностей при розорюванні відносно перелугу змінювався на 15 % і 12 % відносно до шарів ґрунту 0–40 см і 0–70 см.

Частка окремоностей розміром 2–5 мм від розорювання змінювалась на 18,2 і 14,2 %, а коефіцієнти структурності зменшувалися в 2,18 і 1,9 раза. Систематичне застосування безполицевого обробітку забезпечувало утворення агрономічно цінних структурних окремоностей в кількості 74,6 % і 72,8 %, що менше на 4,4 % і 3,3 % ніж при утриманні перелугу відповідно 0–40 см та 0–70 см шарам ґрунту. Частка структурних окремоностей розміром 2–5 мм становила — 41,9 % і 40,3 %, що більше ніж за систематичної оранки на 7,1 % і 8,0 %. Коефіцієнти структурності зросли відносно оранки в 1,7 раза, а відносно довгострокового перелугу були нижчими в 1,2–1,3 раза.

Довгострокове використання безполицевого обробітку впродовж 18 і 36 років забезпечувало підвищення вмісту найбільш цінних в агрономічному розумінні структурних окремоностей розміром 2–5 мм на чорноземах типових середньогумусних до 36 %, а на чорноземах типових малогумусних до 25,7–28 % в 0–40 см та 0–70 см шарах ґрунту. Під впливом систематичного застосування безполицевого обробітку впродовж 18 років оструктурування чорноземів типових середньогумусних легкоглинистих у 0–40 см шарі ґрунту за вмістом окремоностей 2–5 мм досягало рівня оструктуреності чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового при утриманні перелугу, а в товщі 0–70 см значно перевищувало рівень оструктуреності перелугу.

Отже, структуроутворення при утриманні перелугу на чорноземах типових середньо- і малогумусних легкоглинистих і легкосуглинкових підпорядковані загальній закономірності. Нижня межа вмісту

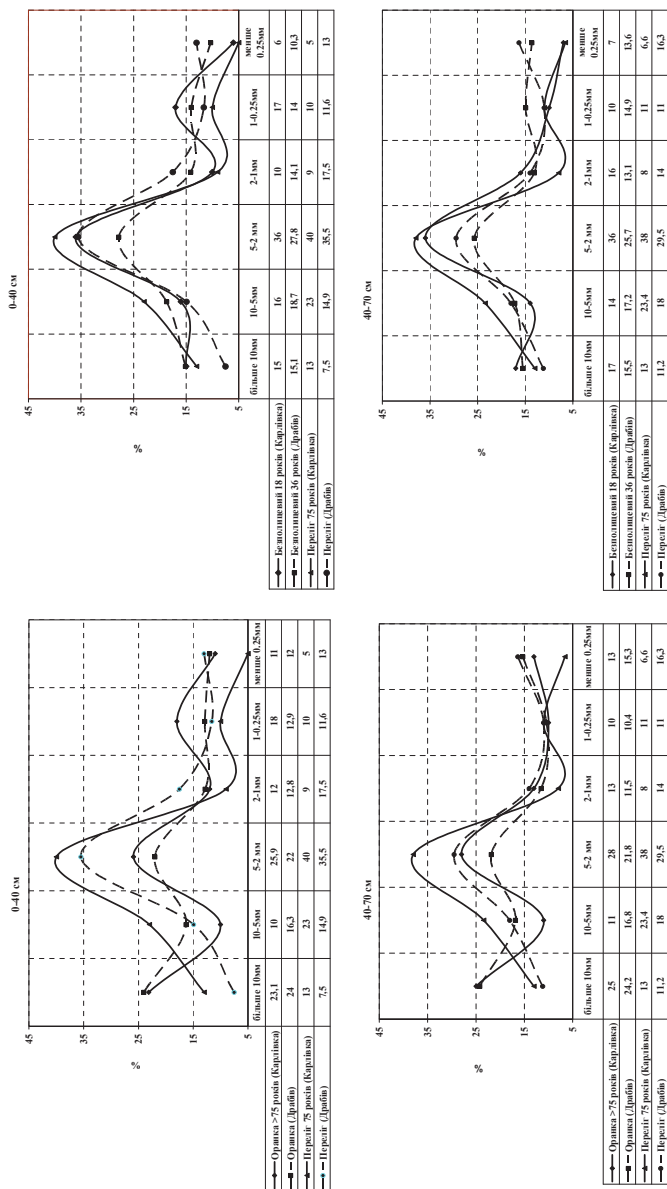


Рис. 4.9. Довгостроковий вплив способів обробітку і утримання чорноземів лівобережної частини Лісостепу України на структурний стан в гумусовому горизонті (0–70 см)

структурних окремостей розміром 2–5 мм у шарі ґрунту 0–40 см за систематичної оранки не знижується за 28 % і 22 %, а в 0–70 см товщі до 28 % і 21,8 % відповідно ґрунтовим відмінам чорноземів.

4.3. Відтворення водостійкої структури чорнозему типового

4.3.1. Формування водостійкості структури залежно від обробітку та способу утримання чорнозему. Водостійкість структурних агрегатів визначається загальним умістом органічної речовини гумусу, яка міститься в ґрунті [227–228, 230]. Зниження вмісту гумусу в чорноземах, що спостерігається при інтенсивному його обробітку, навіть за стабільного стану інших факторів структуроутворення, неминуче призводить до погіршення водостійкості структури, утворення ґрунтової кірки та посилення деградаційних процесів [232, 237, 238]. Одна з перших концепцій відтворення водостійкості структури належить В.Р. Вільямсу [70], зміст якої криється у тому, що у сівозмінах потрібно утримувати два поля багаторічних трав, які здатні відтворити водостійкість структури за рахунок розвиненої кореневої системи.

Першим, хто поставив твердження В.Р. Вільямса під сумнів, був Т.С. Мальцев [259, 261, 263], який стверджував, що якщо однорічним рослинам створити належні умови, як і багаторічним травам, і, виконувати обробіток ґрунту без обертання скиби із заробкою пожнивних решток і гною у верхню третину гумусного горизонту, то ґрунтовідновні можливості однорічних культур в агроценозах будуть підсилюватись. У своїх дослідженнях [437, 450, 452, 457] нами знайдено підтвердження висновків, які висловив Т.С. Мальцев. Застосування ґрунтозахисних технологій, з поверхневим загортанням органічних добрив, пожнивних і кореневих решток, сприяло значному покращенню водостійкості структури. Дослідження показали, що в природних умовах південної частини Лівобережного Лісостепу України формування водостійкої структури при утриманні довгострокового перелогу (більше 75 років) спрямовано у напрямку формування гумусованого горизонту із високим умістом водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм і >5 мм. Сума водостійких агрегатів зазначеного розміру в гумусному горизонті досягає 45–50 %. Водостійких агрегатів розміром 0,25–0,5 мм — 15–22 %, а $<0,25$ мм понад 40 % (рис. 4.10).

Виконання оранки понад 75 років на глибину 28–32 см (базовий показник) сприяло руйнуванню водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм, уміст яких знизився до 30 %, а агрегати розміром більших за 5 мм були

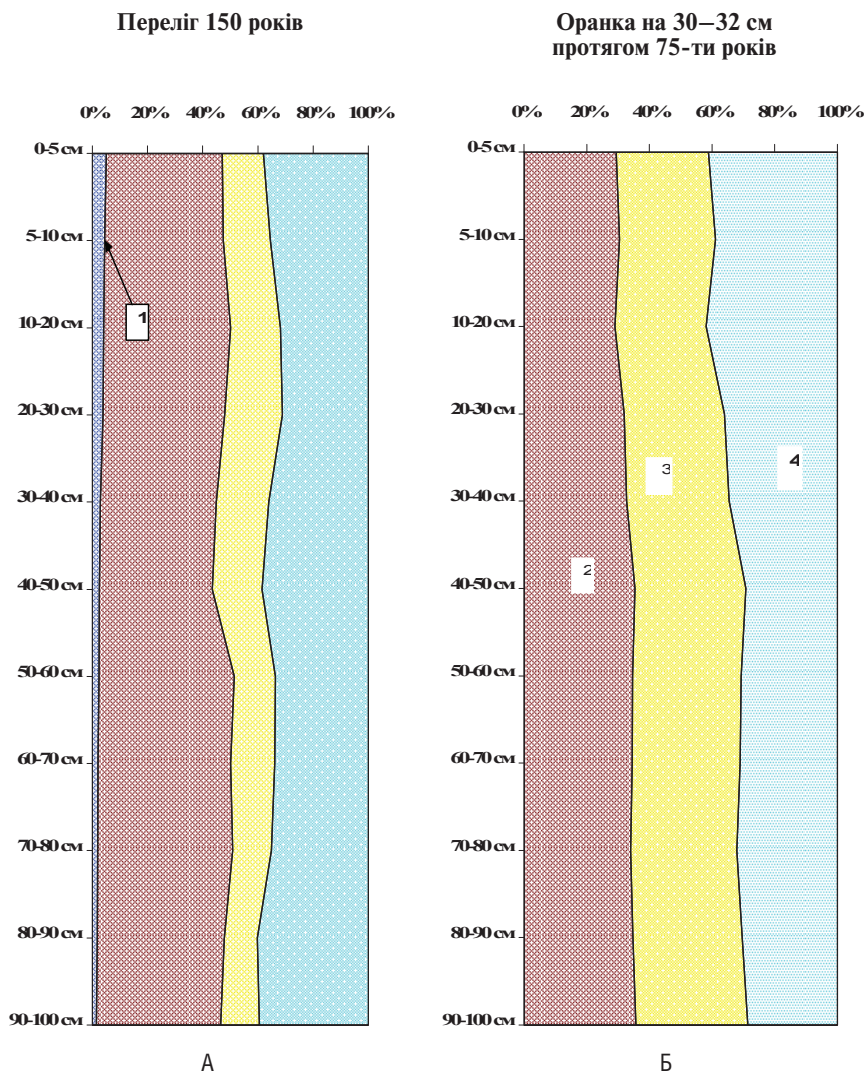


Рис. 4.10. Вплив довгострокового утримання перелугу (А) більше 150 років та довгострокового розорювання протягом 75-ти років (Б) на водостійкість ґрунтової структури в 0–100 см чорнозему типового: 1 — більше 3 мм; 2 — 0,5–3 мм; 3 — 0,25–0,5 мм; 4 — менше 0,25 мм

зруйновані повністю, що, передусім, пов'язано з дегуміфікацією та мінералізацією детриту в гумусованому горизонті від інтенсивного обробітку, що сприяло утворенню великої кількості водостійких агрегатів розміром 0,25–0,5 мм.

Вивчення водостійкості структури у 0–100 см товщі чорнозему під кінець ротації 10-пільної зерно-просапної сівозміни свідчить про те, що дотримання системи обробітку як при виконанні оранки, так і безполицевого обробітку, на контролі без унесення мінеральних і органічних добрив, тільки за рахунок використання поживних і корневих решток, сприяє покращенню водостійкості структури метрового шару ґрунту (рис. 4.11).

У гумусному горизонті вміст фракцій водостійких агрегатів крупніших за 5 мм становив 1,5–2,0 %. З глибиною вміст агрегатів зазначеного розміру знижується до 0,3–0,5 %, а розміром 0,25–0,5 мм і <0,25 мм підвищується на 5–15 %. Відтворення водостійкої структури чорнозему в умовах ґрунтозахисних систем обробітку на контролі без унесення добрив пояснюється накопиченням детриту. Основним його джерелом у ґрунті є відмерлі кореневі рештки та прогумусові речовини кореневого ексудату.

Мінімалізація обробітку чорнозему до 5–12 см сприяла підвищенню вмісту водостійких агрегатів у гумусному горизонті на 16,5–18,6 %, а у гумусованому горизонті — на 13,7–14,4 % відносно до оранки в умовах дослідів. При порівнянні з довгостроковою оранкою (більше 75 років) вміст водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм збільшився на 22,0–24,1 % і 17,7–18,4 % відповідно до горизонтів. Покращення водостійкості структури при мінімальному обробітку відбувається у напрямку до перелогу. Розрахунок показав, що між запасом детриту і вмістом водостійких агрегатів при мінімалізації обробітку чорнозему, відбувається підсилення кореляційних зв'язків до рівня сильної кореляції ($R=0,65-0,75\pm0,03$) проти середнього її рівня ($R=0,45-0,50\pm0,03$) при оранці. В умовах ґрунтозахисного безполицевого обробітку підсилюється роль детриту у формуванні водостійкої структури.

Чим більше буде накопичено на поверхні ґрунту рослинних решток, тим більше наблизатиметься культурний ґрунтоутворювальний процес до природного дернового процесу ґрунтоутворення, за рахунок якого природа створила високу потенційну родючість чорноземів типових [65, 453, 454].

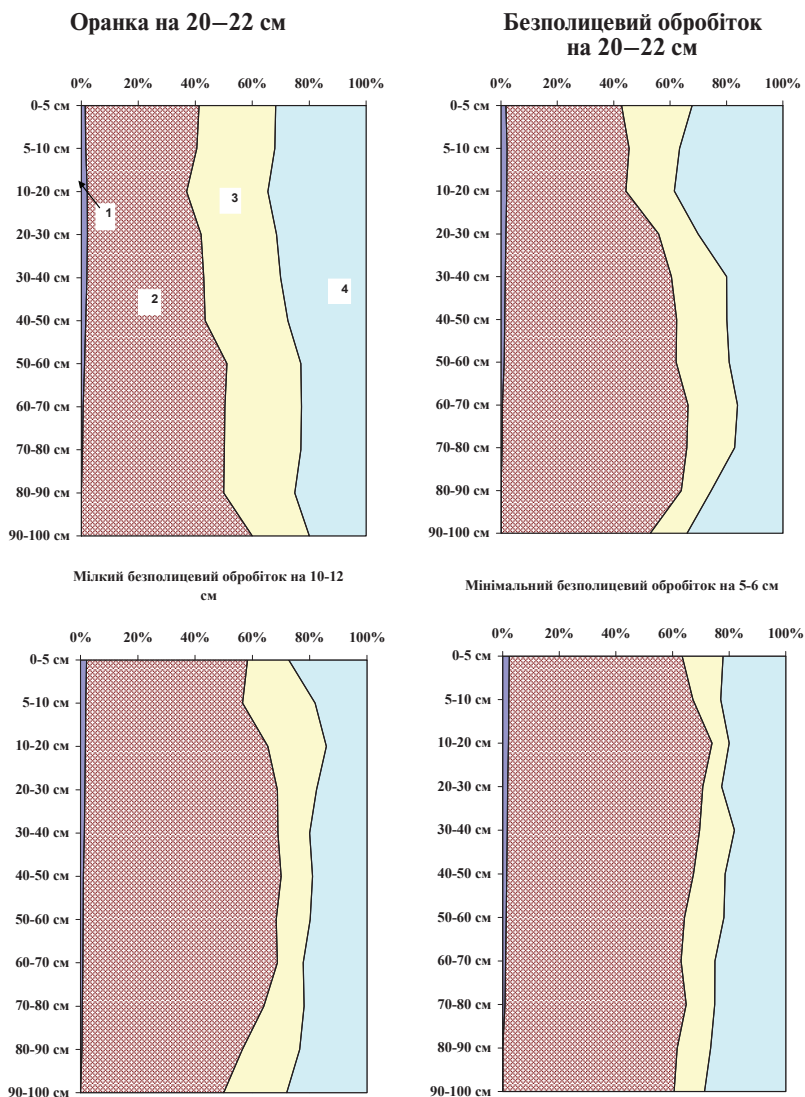


Рис. 4.11. Довгостроковий вплив різних способів обробітку на водостійкість ґрунтової структури в 0–100 см товщі чорнозему типового середньогумусного без внесення добрив: 1 — >3 мм; 2 — 0,5–3 мм; 3 — 0,25–0,5 мм; 4 — <0,25 мм

Нами вивчено водостійкість агрономічно цінних структурних окремоностей розміром 2–5 мм на 9–10-й рік від початку досліду. На рис. 4.12 показано як змінилася водостійкість структурних окремоностей залежно від способу обробітку і утримання чорнозему. При утриманні перелугу водостійкість макроагрегатів розміром 2–5 мм найвищою була в 0–10 см шарі ґрунту, а з глибиною знижувалась. Уміст фракції агрегатів >0,25 мм досягав 80 %, а доля агрегатів >1 мм становила

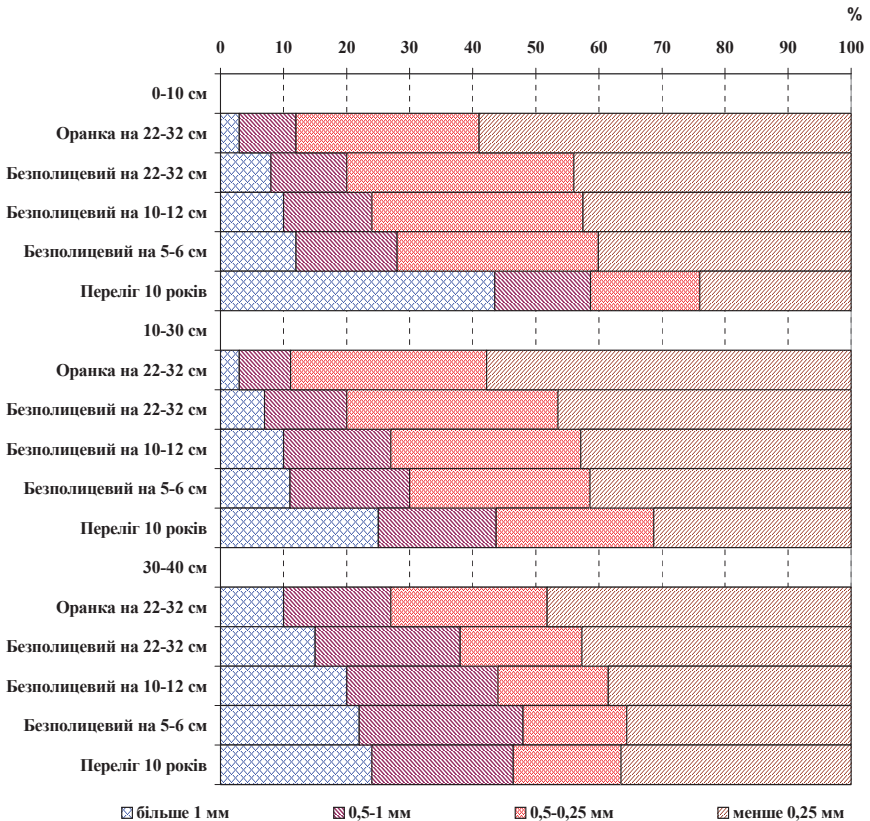


Рис. 4.12. Вплив системи обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на водостійкість структурних окремоностей у гумусному горизонті при внесенні $N_{75}P_{85}K_{65} + 15$ т на 1 га гною (на 9–10-й рік проведення досліджень)

45 %. З глибиною вміст агрегатів $<0,25$ мм підвищується до 55–60 %, а агрегатів розміром <1 мм, 0,5–1 і 0,25–0,5 мм зменшується до 20 %, 40 % і 60 % відповідно.

При систематичному виконанні оранки у шарі ґрунту 0–10 см водостійкість агрегатів розміром 2–5 мм знижується, а вміст складових фракцій $>0,25$ мм знизився до 45 %. Агрегатів розміром $<0,25$ мм у складі структурних окремоностей 2–5 мм містилося 55 %. З глибиною у шарах ґрунту 10–20 см, 20–30 см водостійкість макроагрегатів не підвищується, лише у шарі ґрунту 30–40 см вміст агрономічно цінних агрегатів ($>0,25$ мм) підвищується до 55–57 %, а доля агрегатів >1 мм збільшилася до 9–10 %. Систематичне виконання безполицевих обробітків сприяє підвищенню водостійкості макроагрегатів 2–5 мм, яка покращувалася при мінімалізації основного обробітку.

При глибокому безполицевому обробітку в шарі ґрунту 0–30 см структурні окремоності розміром 2–5 мм на 45–50 % складаються з водостійких агрегатів $<0,25$ мм, лише у шарі ґрунту 30–40 см вміст цієї фракції агрегатів знижується до 35–40 %, а вміст агрегатів розміром >1 мм, 0,5–1 мм підвищується до 15–42 %.

За безполицевого обробітку чорнозему на 5–12 см у шарах ґрунту 0–10 см, 10–20 см і 20–30 см уміст водостійких агрегатів розміром >1 мм підвищується до 9–15 %, а агрегатів розміром 0,5–1 мм до 26–32 % шарі ґрунту 10–20 см та 24–34 % у шарі ґрунту 20–30 см відповідно до мілкого і мінімального безполицевого обробітку. Макроагрегати 2–5 мм на цих варіантах на 57–60 % складалися з водостійких агрегатів $>0,25$ мм.

У шарі ґрунту 30–40 см водостійкість макроагрегатів досягала свого максимального значення: агрегатів $<0,25$ мм містилося менше 45 %, а агрегатів >1 мм — 20–25 %. Рівень водостійкості структурних окремоностей досягав рівня при утриманні перелогу. При визначенні водостійкості агрегатів розміром 1–2 мм виявилось, що загальні закономірності формування водостійкості зберігаються, але проявляються на меншому кількісному рівні. У шарі ґрунту 0–10 см на всіх чотирьох системах обробітку макроагрегати на 45–55 % складаються з агрегатів <1 мм, а частка агрегатів >1 мм була практично однаковою. З глибиною вміст агрегатів <1 мм дещо знижувався, а частка крупних фракцій підвищувалася.

У шарі ґрунту 10–20 см при глибокому й мілкому безполицевому обробітках при оранці відбувалося перегрупування агрегатів у бік

укрупнення, а при мінімальному безполицевому обробітку та перелозі відбувся процес утворення великих за розміром агрегатів за рахунок зменшення вмісту агрегатів <1 мм. У шарах ґрунту 20–30 см і 30–40 см цей процес був більш вираженим порівняно з шарами ґрунту 0–10 см і 10–20 см. У шарі ґрунту 30–40 см макроагрегати розміром 1–2 мм на 25–38 % склалися з водостійких агрегатів <1 мм і на 62–75 % з агрономічно цінних водостійких агрегатів. Доля агрегатів >1 мм досягала 27–33 % проти 7 % при оранці і 15 % при глибокому безполицевому обробітку.

Слід взяти до уваги ту обставину, що за систематичного безполицевого обробітку у шарі ґрунту 0–30 см утворюється інтервал “переважаючих” розмірів агрегатів розміром 2–5 мм, водостійкість яких виявилася значно вищою, ніж при оранці. Підвищений вміст складових водостійких агрегатів розміром >1 мм у складі макроагрегатів розміром 2–5 мм сприяє підвищенню фільтраційної здатності товщі чорнозему і визначає “економність” витрати продуктивного запасу вологи на фізичне випаровування [50]. Дослідження, проведені А.М. Бурикіним [49], показали, що у чорноземах при переважаючих розмірах агрегатів $<0,25$ мм коефіцієнт фільтрації становив 0,06–0,1 мм/хв; в агрегатах розміром 0,25–0,5 мм — 0,20–0,23 мм/хв; 1–3 мм — 2 мм/хв; 3–5 мм — 16,5–20,1 мм/хв. При внесенні гною достовірні зміни у гумусному і структурно-агрегатному стані можуть бути зафіксовані не раніше, ніж через 10–12 років після початку систематичного його внесення [235].

Наші дослідження показали, що внесення 15 т/га гною на 1 га сівозміни при оранці мало меншу ефективність на формування водостійкої структури, ніж при застосуванні безполицевого обробітку. Надбавка водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм по відношенню до базового значення на початку досліджень (1982 р.) при оранці становила: 8,5 і 11,1 % відповідно до шарів ґрунту 0–30 см і 0–50 см, а при безполицевому обробітку — 23,7–27 %, 1 і 14,7–18,0 % відповідно, що у 2,79–3,19 і 1,32–1,62 рази вище. Ефективність 1 т гною, як структурно відновлювального засобу, в умовах безполицевого обробітку підсилюється: 1 т гною оцінюється надбавкою вмісту водостійких агрегатів відносно до базового значення 0,16–0,18 % і 0,098 % відповідно до шарів ґрунту 0–30 см і 0–50 см, що у 2,8–3,2 і 1,4–1,7 рази ефективніше, ніж при оранці. при систематичному виконанні ґрунтозахисних технологій покращення водостійкості структурних

агрегатів спрямоване до перелогу, що свідчить про посилення процесів ґрунтоутворення в агроценозі.

4.4. Формування водостійкої структури чорнозему у сівозміні

На основі сукупності визначень водостійкості структури чорнозему (див. рис. 4.13) в ланцюгу сівозміні (озима пшениця—цукровий буряк—горох—пшениця озима—кукурудза на зерно) виявлено, що за довгострокового застосування безполицевого обробітку від початку досліджень під пшеницею озимою, культурою, яка позитивно впливає як на покращення структурного стану, так і на водостійкість самих агрегатів за рахунок добре розвиненої кореневої системи, відбулося суттєве покращення водостійкості ґрунтової структури у порівнянні з визначенням у попередні роки.

З кривих розподілу водостійких агрегатів за розміром видно, що у шарі ґрунту 0–10 см розподіл агрегатів незалежно від системи обробітку був однаковим, а за мінімального обробітку на 5–6 см більше було агрегатів розміром 0,5–2 мм. У шарі ґрунту 10–30 см криві розподілу агрегатів майже співпадають.

Проявляється слабка тенденція до укрупнення агрегатів до розмірів більших за 1 мм. У шарі ґрунту 10–30 см водостійкість агрегатів була вища, а абсолютний рівень водостійкості структури підвищувався у ряду — оранка, мілкий та мінімальний безполицеві обробітки на 10–12 см та 5–6 см: агрегатів 0,5–3 мм було 17,3 %; 18,0 %; 40,2 %; 0,5–0,25 мм — 28,2 %; 34,3 % та 23 % відповідно до обробітків. Вміст водостійких агрегатів >0,25 мм найменшим був за систематичної оранки (45 %), далі підвищувався до 52 % при мілкому безполицевому обробітку, а найвищим виявився при мінімальному безполицевому обробітку на 5–6 см — 63,2 %. Коефіцієнт водостійкості зростав: $K_{вд}=1,22$; $K_{вд}=1,60$; $K_{вд}=2,82$ відповідно до обробітків.

У 0–10 см шарі ґрунту водостійкість структури покращилася відносно базового показника перед закладкою досліду, як за систематичної оранки, так і за безполицевого обробітку. Значно кращим виявився стан водостійкості структури в середній частині гумусного горизонту (10–30 см) за систематичної оранки та за безполицевих обробітків на 10–12 см і 5–6 см: вміст водостійких агрегатів 0,25–0,5 мм і 0,5–1,0 мм зріс відносно базового показника. За безполицевих обробітків відбулося зростання вмісту водостійких агрегатів крупніших >1 мм. У найбільшій мірі вміст агрегатів >1 мм зріс при безполицевому

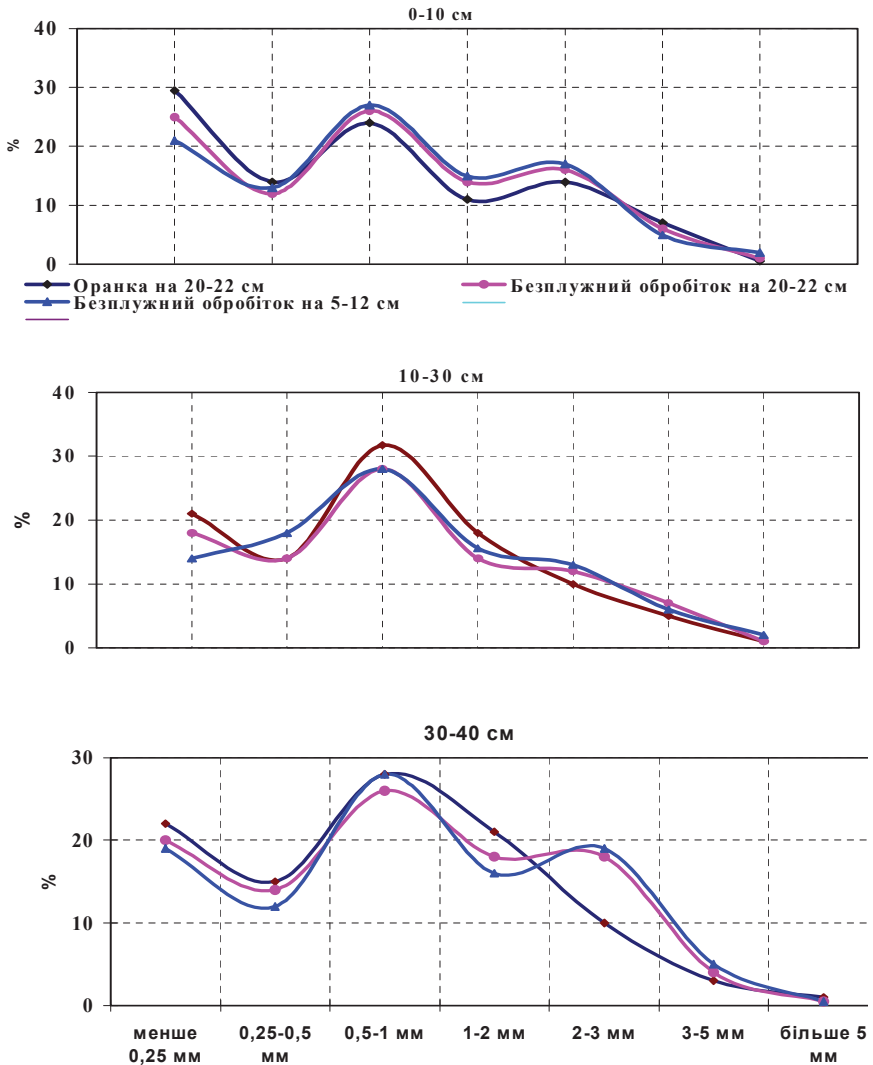


Рис. 4.13. Вплив різних способів обробітку чорнозему типового на перерозподіл водостійких агрегатів в 0–40 см шарі чорнозему при вирощуванні пшениці озимої при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т/га гною

обробітку на 5–6 см: 10–12 мм: агрегатів розміром 1–3 мм, що вище ніж за оранки на 5–8 %. Впродовж 8 років систематично виконувались чотири системи обробітку ґрунту у сівозміні (оранка на 22–32 см, глибокий (22–32 см), мілкий (10–12 см) та мінімальний (5–6 см) безполицевий обробітки), а водостійкість структури вивчалася до глибини 0–100 см на удобреному фоні з внесенням $N_{70}P_{45}K_{45} + 12$ т/га гною. Розподіл водостійких агрегатів у гумусному горизонті показав, що у шарі ґрунту 0–10 см найвищим їх вміст був при мілкому безполицевому обробітку. Крива розподілу агрегатів при оранці має добре виражений максимум в інтервалі розмірів агрегатів 2–3 мм та 0,5–1 мм. У шарі ґрунту 10–30 см розподіл агрегатів за розміром залежав від системи обробітку ґрунту (рис. 4.13).

При оранці крива розподілу агрегатів має двохвершинний характер в інтервалі розмірів агрегатів 0,5–1 мм та 2–3 мм. При глибокому безполицевому обробітку криві розподілу в шарах ґрунту мають максимум в області розмірів <1 мм. Систематичне виконання безполицевого на 10–12 см та мінімального на 5–6 см обробітків формує криві розподілу з вираженими максимумами “переважаючих” розмірів в інтервалі розмірів 0,5–2 мм та 2–3 мм.

При оранці, глибокому і мілкому безполицевому обробітках внесення добрив сприяло підвищенню вмісту водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм на 9,8 %, 4,0 % та 5,0 % відповідно, а при мінімальному безполицевому обробітку їх вміст зменшився на 15 %, а загальна сума водостійких агрегатів $>0,25$ мм за оранки підвищилась на 5,1 %, за глибокого безполицевого обробітку — на 6,3 %. Особливо цінним є те, що при мілкому безполицевому обробітку на 10–12 см вміст фракцій 0,5–3 мм перевищує вміст цих агрегатів за оранки на 7 % при практично рівному вмісті агрегатів $>0,25$ мм (76–78 %).

У нижній частині гумусного горизонту (30–40 см) вміст водостійких агрегатів $>0,25$ мм знижується в міру мінімалізації основного обробітку ґрунту: від 81 % при оранці та 82,4 % при глибокому безполицевому обробітку до 77 % та 71 % при мілкому та мінімальному безполицевих обробітках. Частка агрегатів 0,5–3 мм на всіх варіантах у досліді залишалася однаковою, лише при мінімальному безполицевому обробітку вміст агрегатів 0,5–3 мм знижувався на 9–10 %.

У товщі ґрунту 40–70 см водостійкість структури була майже однакою на всіх варіантах обробітку ґрунту: агрегатів $>0,25$ мм було 72–80 %, а частка агрегатів $<0,5$ мм у загальній сумі була 63–71 %.

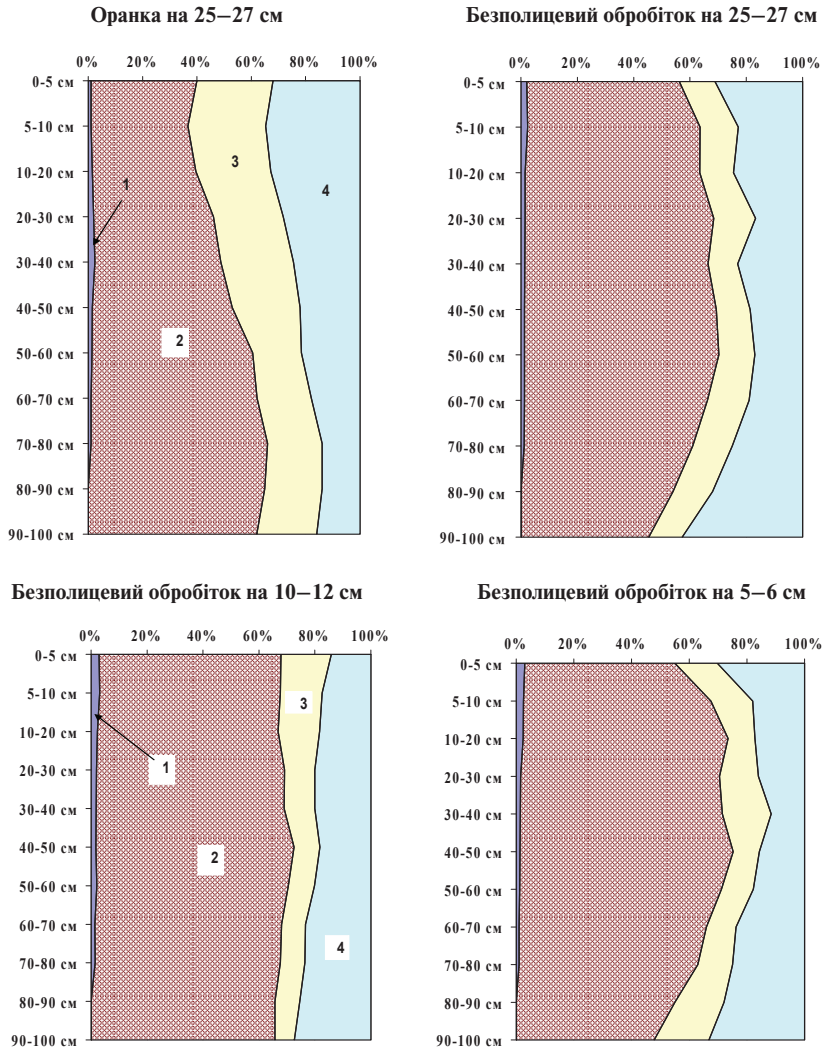


Рис. 4.14. Вплив системи обробітку на водостійкість структури чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого при вирощуванні кукурудзи на зерно: 1 — більше 3 мм; 2 — 0,5–3 мм; 3 — 0,25–0,5 мм; 4 — менше 0,25 мм (при внесенні $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т/га гною)

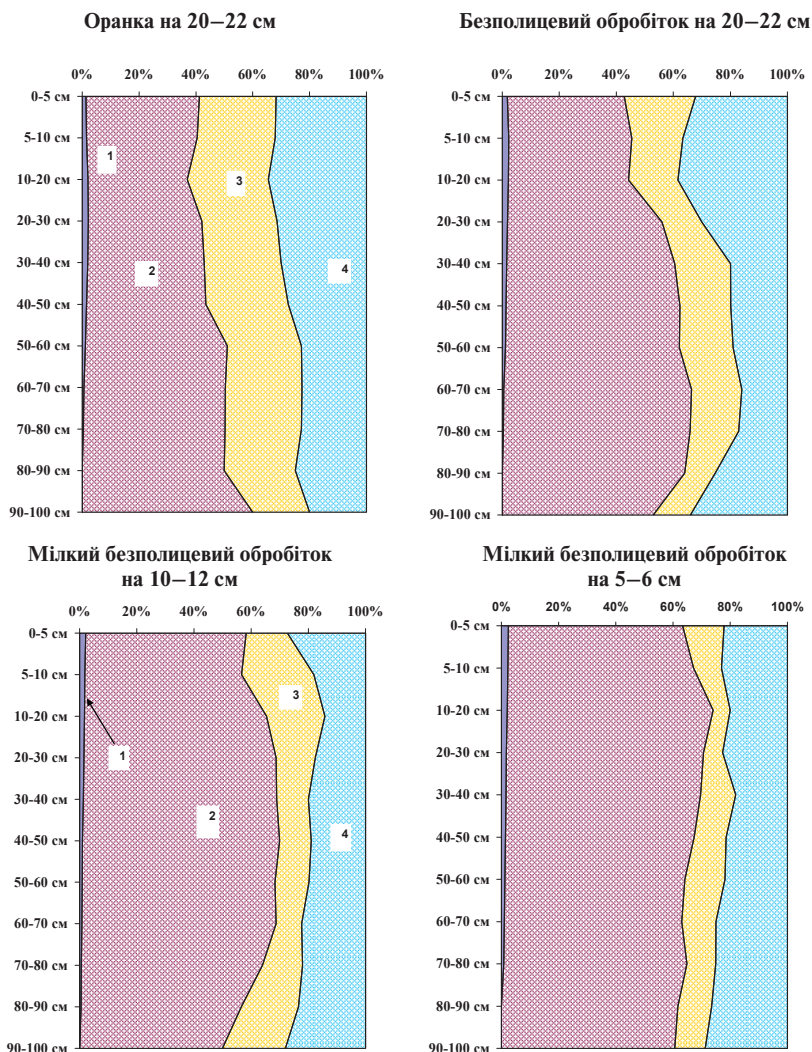


Рис. 4.15. Вплив системи обробітку чорнозему на водостійкість структури 0–100 см шару чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого при вирощуванні пшениці озимої: 1 — >3 мм; 2 — 0,5–3 мм; 3 — 0,5–0,25 мм; 4 — <0,25 мм, ($N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т/га гною)

Коефіцієнт водостійкості при ґрунтозахисних обробітках був вищим: $K_{вд}=1,70-1,89$ проти $K_{вд}=1,27$ за оранки. У нижній частині гумусового горизонту (70–100 см) загальний вміст водостійких агрегатів $>0,25$ мм найвищим був при оранці та глибокому безполицевому обробітку (79–81 %). Частка агрегатів розміром 0,5–3 мм була практично однаковою (рис. 4.14, 4.15).

При мінімалізації обробітку коефіцієнт водостійкості порівняно з оранкою ($K_{вд}=1,65$) зростав до значень $K_{вд}=2,10-2,43$ вирівняним. З глибини 70 см їх кількість зменшується за рахунок утворення більшої кількості агрегатів розміром $<0,25$ мм, що свідчить про встановлення оптимального співвідношення водостійких агрегатів, які подають вологу до поверхні випаровування (агрегати 0,25–0,5 мм та $<0,25$ мм) з агрегатами, що контролюють раціональну її витрату при фізичному випаровуванні (агрегати 0,5–3 мм).

Останньою культурою в зерно-просапній 10-пільній сівозміні була кукурудза на зерно, де було внесено 30 т/га гною на фоні середніх доз добрив, як під зернову, так і силосну кукурудзу. Виявлено, що найвищий рівень водостійкості був в середній та нижній частинах гумусного горизонту (10–30 см та 30–40 см). При всіх способах обробітку утворилися двох вершинні криві розподілу агрегатів з максимумами вмісту в інтервалі розмірів 0,5–1 мм та 2–3 мм, але величина “максимумів” у розподілі агрегатів при оранці була менш виражена, ніж при безполицевих обробітках. Виявилось, що у гумусованому горизонті при виконанні оранки вміст агрегатів розміром 0,5–3 мм був меншим на 15,6 %; 17,3 % та 13,3 % у порівнянні з глибоким, мілким та мінімальним безполицевими обробітками. Агрегатів $>0,25$ мм при оранці було менше на 13,6 %; 19,0 та 9 % відповідно до обробітків. У шарі ґрунту 30–40 см агрегатів розміром 0,5–3 мм при мінімальному обробітку було більше на 8,4–12,7 %, а агрономічно цінних агрегатів $>0,25$ мм було більше на 8–16 %.

4.4.1 Залежність водостійкості структури від різних ґрунтових факторів. У роботах П.В. Вершиніна [63, 64], Ф.С. Соболева та ін. [382], В.А. Лапанової [230] показано, що існує прямий зв’язок між рівнем водостійкості структурних агрегатів та вологістю ґрунту, а дослідження І.Г. Захарченка [161] показують, що висушування ґрунту сприяє зростанню вмісту водостійких агрегатів.

Вивчаючи сезонну динаміку водостійких агрегатів в ґрунті і зміну співвідношення різних груп агрегатів у сезонному і річному циклах

під впливом різних систем обробітку було виявлено певну закономірність, суть якої криється у тому, що при систематичній оранці мінімальна кількість водостійких агрегатів у оброблюваному шарі ґрунту, як правило, фіксувалася в період максимального зволоження гумусного горизонту чорнозему весною. При цьому співвідношення водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм і 0,25–0,5 мм складається на користь мілких фракцій агрегатів. У процесі підсихання 0–30 см шару ґрунту кількість агрономічно цінних агрегатів дещо знижується, а частка агрегатів розміром 0,5–3 мм під кінець вегетаційного періоду зростає на 6–9 %. За осінньо-зимовий період кількість водостійких агрегатів відтворюється до висхідного рівня, а співвідношення агрегатів у загальній кількості агрономічно цінних складалося на користь мілких фракцій.

При систематичному виконанні безполіцевих обробітків на 5–12 см водостійкість ґрунтової структури в сезонному і річному циклах докорінно змінюється. Весною у сумі агрономічно цінних агрегатів переважали водостійкі агрегати розміром 0,5–3 мм, а під кінець вегетаційного періоду утворюється більше агрегатів розміром 0,25–0,5 мм та <0,25 мм. Весною, при достатньому внесенні органічних і мінеральних добрив з осені, кількість водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм відтворюється до висхідного рівня, при простому відтворенні родючості, і збільшується при розширеному її відтворенні. Для оцінки залежності фактору зволоженості з рівнем водостійкості структури ми розраховували коефіцієнти кореляції між польовою вологістю (%) і кількістю водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм і 0,25–0,5 мм. При оранці зв'язок виявився на рівні сильної кореляції: $R=+0,78\pm0,09$, а при безполіцевому обробітку зв'язок послаблювався до рівня середньої кореляції: $R=+0,50-0,55\pm0,09$. Коефіцієнти кореляції були достовірними: $F_p > F_t$ ($30-40 > 3,59$). У першому випадку водостійкість структури залежала від рівня зволоженості на 61 %, а у другому — на 30 %. При оранці на одиницю підвищення або зниження рівня зволоженості припадає у 1,29–1,62 раза більша зміна рівня водостійкості.

В умовах бездефіцитного балансу гумусу у сівозміні, про що показано в розділі 3, виявлено кореляційну залежність між рівнем водостійкості і балансом гумусу. Ми розраховували рівняння множинної кореляції цієї залежності при різних системах обробітку:

- для систематичної оранки:

$$Y = 0,18X_1 - 0,056X_2 - 4,68 \quad (F_p > F_t);$$

$$R(Y/X_1 \cdot X_2) = +0,65 \pm 0,05, R^2 = 0,48 (F_p. > F_t.);$$

- для безполицевого обробітку:

$$Y = 0,12X_1 + 0,042X_2 - 4,09 (F_p. > F_t.);$$

$$R(Y/X_1 \cdot X_2) = +0,85 \pm 0,07, R^2 = 0,72.$$

Порівнюючи коефіцієнти множинної кореляції при різних способах обробітку виявилось, що додатність балансу органічної речовини гумусу визначала водостійкість структури на 42 % при оранці і на 72 % при безполицевому обробітку. На одиницю зміни вмісту органічної речовини у перерахунку на гумус при безполицевому обробітку припадає 0,042 % підвищення вмісту водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм. При оранці на одиницю зміни вмісту органічної речовини у ґрунті припадає зниження вмісту цієї фракції на 0,056 %. Хоча, на одиницю збільшення балансу органічної речовини при оранці припадає у 1,5 рази більше загальної кількості агрономічно цінних агрегатів.

Подальші розрахунки показали, що спосіб обробітку ґрунту впливає на зв'язок між вмістом водостійких агрегатів >0,25 мм та вмістом (т/га) гумусових речовин I і II фракцій, здатних до пептизації. Виявилося, що при безполицевому обробітку підвищується зв'язок між рівнем водостійкості і вмістом гумусових речовин, здатних до пептизації: при оранці вони визначають водостійкість на 25 %, а при безполицевому обробітку на 88 %. Використовуючи дані досліджень М.К. Шикили, О.В. Демиденка, А.О. Свіщука [65, 384] ми розраховали рівняння регресії залежності між сезонними змінами гумусу та вмістом водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм (X_2) у шарі ґрунту 0–30 см:

- для систематичної оранки:

$$Y = 6,12 - 0,033X_2 + 0,00039X_2^2;$$

$$R(Y \cdot X_2) = 0,62 \pm 0,07; R^2 = 0,38 (F_p. > F_t., 4,5 > 2,08);$$

- для безполицевого обробітку:

$$Y = 5,95 - 0,045X_2 - 0,00071X_2^2;$$

$$R(Y \cdot X_2) = 0,75 \pm 0,09; R^2 = 0,60 (F_p. > F_t., 5,5 > 2,08).$$

Природа цього взаємозв'язку найкраще описується криволінійною регресією. При оранці кореляційне відношення було на середньому рівні, тоді як при безполицевому обробітку на сильному рівні. Коефіцієнти детермінації показують, що, у першому випадку, сезонна

динаміка гумусу визначає вміст у ґрунті водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм на 38 %, а у другому — на 60 %.

Перегрупування структурних окремостей в межах агрономічно цінного інтервалу в сторону укрупнення з утворенням окремостей розміром 2–5 мм та водостійких агрегатів 0,5–3 мм, зниження залежності водостійкості структури від рівня зволоженості і підпорядкування гумусного стану у сезонному і річному циклах, зміни водостійкості структури чорнозему є ознакою припинення агрофізичної деградації, а відтворення такого стану після відмови від оранки є критерієм зниження ризику при переході до беззмінного безполицевого обробітку в початковий період його виконання.

Отже, зниження залежності водостійкості структури від рівня зволоженості і підвищення впливу гумусного стану у сезонному і річному циклах на водостійкість структури є ознакою припинення агрофізичної деградації. Ефективність 1 т гною в умовах безполицевого обробітку підсилюється: 1 т гною оцінюється надбавкою вмісту водостійких агрегатів відносно до базового значення 0,16–0,18 % і 0,098 % відповідно до шарів ґрунту 0–30 см і 0–50 см, що у 2,8–3,2 і 1,4–1,7 рази ефективніше, ніж при оранці.

При систематичному виконанні ґрунтозахисних технологій покращення водостійкості структурних агрегатів спрямоване до перелогу, що свідчить про посилення процесів ґрунтоутворення в агроценозі.

Сформовані умови попередження ризику при переході до систематичного м'якого безполицевого обробітку чорноземів: перегрупування структурних окремостей в межах агрономічно цінного інтервалу в сторону укрупнення та утворення окремостей 2–5 мм та водостійких агрегатів 0,5–3 мм, зниження залежності водостійкості структури від рівня зволоженості і підвищення впливу гумусного стану у сезонному і річному циклах на водостійкість структури є ознакою припинення агрофізичної деградації, а відтворення такого стану чорнозему є критерієм зниження ризику від застосування безполицевого обробітку в початковий період (7–8 років). Головним завданням, яке покладається на ґрунтозахисні технології є підтримувати взаємообумовлену пульсацію гумусового і агрофізичного станів у часі та посилювати дію зазначеного механізму загортанням у 0–15 см шар чорнозему достатньої кількості органічних добрив у вигляді гною та побічної продукції.

ФІЗИЧНИЙ СТАН ЧОРНОЗЕМІВ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ

5.1. Диференційна шпаруватість та щільність будови чорнозему типового

Сучасні узагальнення Д.Г. Тихоненко з співавторами [412] досліджень про фізичні основи родючості ґрунтів свідчать про їхню актуальність у генетичному, екологічному та агрономічному аспектах. Щільність будови чорноземів типових на рівні з структурно-агрегатним станом є основними параметрами [*], що визначають агрофізичні властивості і режимні процеси в чорноземах, які суттєво впливають на продуктивність сільськогосподарських культур в агроценозах сівозмін. На ранніх етапах дослідження були спрямовані на виявлення оптимальних параметрів щільності будови [6, 99, 24, 142, 143, 169, 170, 184, 299, 302, 347, 348, 349, 395], на сучасному етапі досліджень наука перейшла до пошуку шляхів регулювання цього важливого параметра [275, 276, 225, 228]. Кінцевим результатом оптимізації агрофізичних параметрів є покращення властивостей ґрунту та приведення їх у відповідність до вимог сільськогосподарських культур для отримання максимальної продуктивності [249, 254]. Починаючи з робіт І.Б. Ревута [347–349], сформувалася думка про те, що оптимальний фізичний ґрунтовий параметр — це динамічна величина, під якою необхідно розуміти не константу, а певний діапазон значень та властивостей ґрунту [225, 270, 271, 275]. Будова ґрунту визначається розміщенням у просторі ґрунтових часток і структурних окремостей та конфігурацією шпаруватого середовища [141, 144, 145, 147, 148, 184]. За І.В. Кузнецовим [228] оптимальною щільністю будови ґрунту можна вважати таку, яка відповідає стану, коли характер розподілу

* Медведєв В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Е. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты. — Харьков: Изд-во КП “Городская типография”, 2004. — 244 с.

грунтових шпарин за розміром забезпечує оптимальні параметри життя культурних рослин та мікроорганізмів.

Під диференціальною шпаруватістю ґрунтів, поняття якої було введено О.Г. Дояренком [147] та М.А. Качинським [180–181], розуміється детальна характеристика шпаруватості ґрунту при розділенні її на об'єми, що відповідають агрегатному та міжагрегатному просторам. Визначення перелічених характеристик самих по собі дає цінний матеріал для висновків про фізичний стан ґрунту, а їх сукупний аналіз дозволяє зробити практичні та прогностичні рекомендації при розробці та застосуванні різних заходів та систем обробітку ґрунту [228, 229, 275].

За верхню межу оптимальної щільності прийнято щільність, при якій у ґрунті при вологості, що відповідає повній вологоємності (ПВ), вміст повітря буде не менше 15 %, а за нижній — щільність, при якій у ґрунті вміст повітря при насиченні до ПВ не буде перевищувати 20 % [54, 228, 349–350].

При оптимальній щільності будови ґрунту і при вологості, що відповідає ПВ, співвідношення повітря до продуктивної вологи повинно становити 1 до 1 або 1,5 до 1 на користь шпарин, які зайняті вологою [37–40, 228]. На думку багатьох дослідників будова ґрунту регулюється в основному агротехнічними заходами і, в першу чергу, способом обробітку ґрунту [141, 211, 212, 213, 214, 215, 275, 277, 348].

Раніше було показано (розділ 5), що у природних аналогах (цілина та переліг) область “переважаючих” розмірів агрегатів припадає саме на групу структурних окремоостей розміром 2–5 мм, а тому завдання обробітку ґрунту криється у тому, щоб таких структурних окремоостей в оброблюваному шарі ґрунту утворилася достатня кількість, а співвідношення з іншими фракціями груп агрегатів та структурних окремоостей досягло оптимального рівня. Маючи на увазі вище сказане, для розрахунку міжагрегатної шпаруватості ми враховували вміст структурних окремоостей розміром 2–5 мм та >0,25 мм.

5.2 Типізація значень диференційної шпаруватості та щільності будови у сівозміні

На основі сукупності даних, які були отримані при вивченні динаміки щільності будови за ротацію 10-пільної сівозміни, була проведена типізація значень щільності будови та диференційної шпаруватості у 0–30 см шарі чорнозему.

При виконанні оранки (рис. 5.1) інтервал зміни типових значень щільності будови у шарі ґрунту 0–10 см становив 1,00–1,20 г/см³. У шарі ґрунту 10–30 см інтервал зміни типових значень щільності будови був достовірно вужчим — 1,14–1,27 г/см³. Нижня та верхня межа оптимальної щільності будови в шарі ґрунту 0–10 см становила 1,03 г/см³ та 1,24 г/см³, а у шарі 10–30 см — 1,17–1,28 г/см³.

Нижня межа оптимальності щільності будови знаходилась у типізованому інтервалі значень, що свідчить про неоптимальність побудови 0–30 см шару ґрунту при низьких значеннях щільності. Верхня межа оптимальності щільності будови у шарі ґрунту 0–10 см виходила за значення верхнього квантеля і знаходилась за значенням квантеля, який відповідає $P_{0,90}$, а у шарі ґрунту 10–30 см верхнє оптимальне значення будови було між $P_{0,75}$ і $P_{0,90}$. Показовим є різне зміщення типових інтервалів щільності будови у шарах ґрунту 0–10 см та 10–30 см — 1,00–1,20 г/см³ та 1,14–1,27 г/см³.

При систематичному виконанні глибокого безполицевого обробітку на 22–32 см в шарах ґрунту 0–10 см та 10–30 см типізований інтервал щільності будови змістився в бік більш високих значень щільності у порівнянні з оранкою: 1,01–1,24 г/см³ та 1,16–1,28 г/см³, відповідно. Нижня межа оптимальної щільності будови в шарі ґрунту 0–10 см становила 1,10 г/см³, а верхня — 1,30 г/см³; у шарі ґрунту 10–30 см нижня межа оптимальної щільності становила 1,12 г/см³, а верхня — 1,29 г/см³.

Нижня межа оптимального значення щільності будови у шарі ґрунту 0–10 см знаходилась в межах типізованого інтервалу значень щільності будови ґрунту і співпала зі значенням по медіані, а верхня межа оптимального значення щільності будови співпала з верхнім квантелєм ($P_{0,90}$), що на 0,05 г/см³ вище, ніж при оранці. Типізовані значення щільності будови у шарі ґрунту 10–30 см не виходили за оптимальні параметри, але значення по квантелю $P_{0,75}$ (1,28 г/см³) близьке до $P_{\max}$ (1,29 г/см³). Розмах типізованих значень щільності будови у шарах ґрунту 0–10 см та 10–30 см різний (рис. 5.2).

Якщо значення щільності будови по квантелю $P_{0,75}$ співпадають, то значення по $P_{0,25}$ у шарі ґрунту 0–10 см має більше відхилення в напрямку зниження щільності будови, а у шарі ґрунту 10–30 см навпаки — значення щільності за квантелєм ($P_{0,25}$) зміщується в напрямку зростання щільності будови.

На рис. 5.1 і 5.2 представлено діаграму диференційної шпаруватості на варіанті систематичного виконання безполицевого обробітку на 10–12 см. Інтервали типізованих значень щільності зложення у шарах ґрунту 0–10 см та 10–30 см майже співпадають — 1,13–1,24 г/см³ та 1,17–1,28 г/см³. Інтервали нижньої та верхньої меж і оптимальної щільності будови у шарах ґрунту 0–10 см та 10–30 см знаходилися в межах оптимальних значень, що свідчить про наближення оброблюваного шару ґрунту до рівноважних значень щільності будови.

Застосування кореляційного аналізу дало змогу нам дійти до висновку про те, що в інтервалі від подвійного значення максимальної гігроскопічності до вологості, яка відповідає найменшій польовій вологоємності, між щільністю ґрунту та її вологістю існує тісний обернений зв'язок. У цілому підвищенню польової вологості чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на одиницю відповідало зниження щільності будови у шарі ґрунту 0–10 см — 0,011–0,019 г/см³; 20–30 см — 0,011–0,017 г/см³.

При глибоких обробітках (оранка та глибокий безполицевий обробіток) коефіцієнти регресії були вищими, ніж на варіантах, де систематично виконувався безполицевий обробіток на 10–12 см.

Для отримання даних, які можна було б коректно порівняти, потрібно значення щільності будови, що отримані за різної польової вологості, привести до однієї з констант — до найменшої польової вологості (табл. 6.1). У цілому приведені значення щільності будови при систематичній оранці у типізованому інтервалі значень виявилися достовірно нижчими, ніж при виконанні безполицевих обробітків. Але у шарі ґрунту 0–10 см приведена щільність будови була майже однаковою (0,94–1,00 г/см³ та 0,98–1,02 г/см³) відповідно до оранки та глибокого безполицевого обробітку, а у шарах ґрунту 10–20 см та 20–30 см щільність будови була вищою: 1,13 — 1,16 г/см³ та 1,15–1,18 г/см³ проти 1,06–1,11 г/см³ і 1,05–1,10 г/см³ при оранці.

Мінімізація обробітку ґрунту до 5–12 см сприяє зростанню щільності будови у 0–30 см шарі ґрунту. Значення приведеної щільності по медіані ($P_{0,50}$) повторюють установлену закономірність. Амплітуда зміни приведених значень щільності будови ґрунту в типізованому інтервалі значень ($P_{0,25}$ – $P_{0,75}$) та інтервалі, який розраховано по максимальному розмаху ($P_{0,10}$ – $P_{0,90}$), показує, що при систематичній оранці перепад щільності був найбільший: від 0,06 г/см³ до 0,10 г/см³

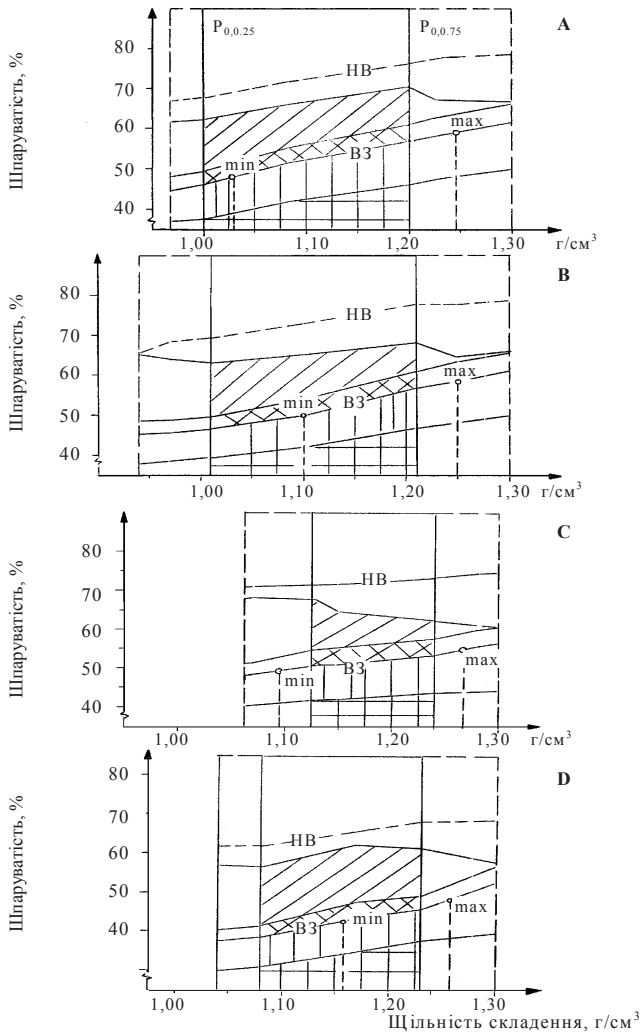


Рис. 5.1. Вплив системи обробітку на диференційну шпаруватість чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого в шарі ґрунту 0–10 см в ланцюгу зерно-просапної 10-пільної сівозміни, 1989–1992 рр.

Умовні позначення: А — Оранка на 22–32 см; Б — Безпліцевий обробіток на 22–32 см; С — Безпліцевий обробіток на 10–12 см; Д — Мінімальний обробіток на 5–6 см

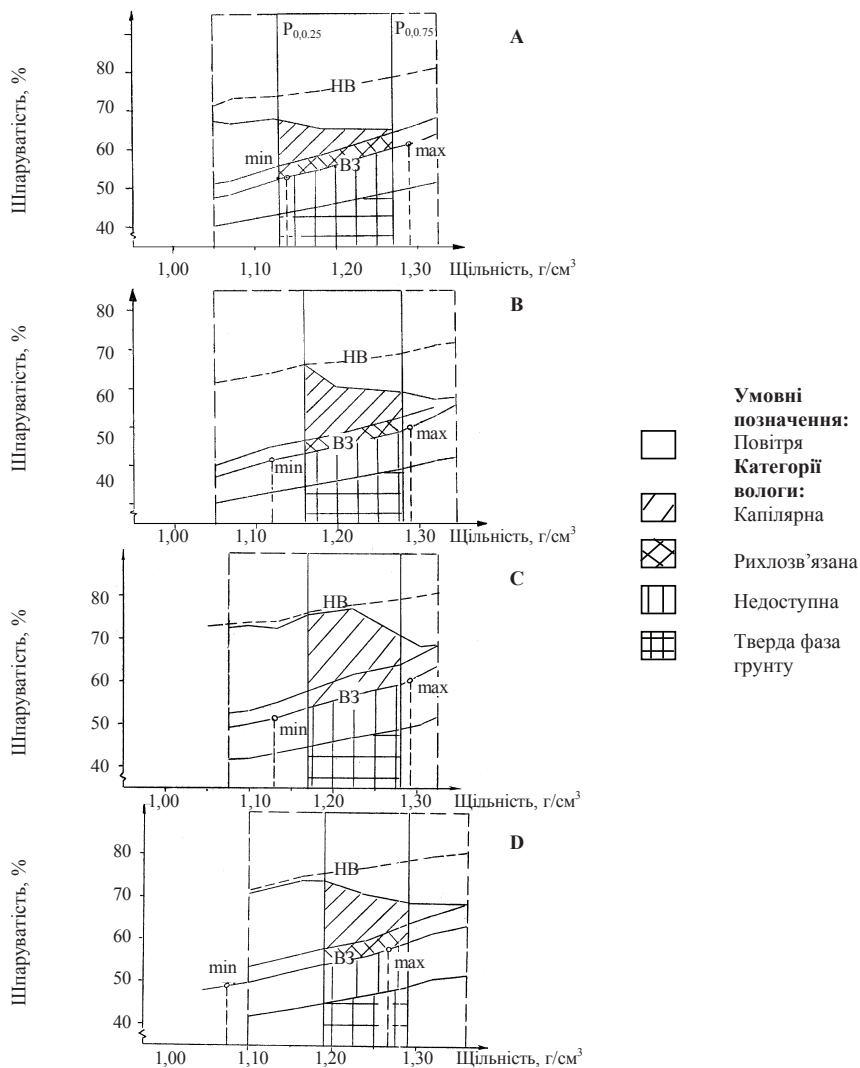


Рис. 5.2. Вплив системи обробітку на диференційну шпаруватість чорнозему типового легкоглинистого в шарі ґрунту 10–30 см в зерно-просапній 10-пільній сівозміні, 1989–1992 рр. (Умовні позначення як рис. 5.1)

(шар ґрунту 0–10 см) та від 0,05 г/см³ і до 0,07 г/см³ (шар ґрунту 10–30 см) відповідно. При глибокому безполицевому обробітку амплітуда зміни щільності звужується до 0,04–0,08 г/см³ (шар ґрунту 0–10 см); 0,03–0,05 г/см³ (шар ґрунту 10–20 см) та 0,03–0,07 г/см³ (шар ґрунту 20–30 см) відповідно. Виконання безполицевого обробітку на 10–12 см значною мірою звужує амплітуду коливань щільності будови: 0,01–0,04 г/см³ (шар ґрунту 0–10 см); 0,02–0,05 г/см³ (шар ґрунту 10–20 см) та 0,03–0,04 г/см³ (шар ґрунту 20–30 см) відповідно до інтервалів щільності, які відповідають значенням $P_{0,25-0,75}$ та $P_{0,10-0,90}$ відповідно.

Таким чином, щільність будови чорнозему типового при довгостроковому застосуванні безполицевих обробітків на різну глибину не виходить за межі оптимальних значень. Стан чорнозему типового найбільшою мірою наближений до рівноважного, що підтверджує висновок, який зробив В.В. Медведєв [274], М.К. Шикіла, Г.В. Назаренко [434] про недоцільність глибокого механічного обробітку чорноземів типових важкого гранулометричного складу з середнім вмістом гумусу. Ущільнення 10–20 см шару чорнозему при ґрунтозахисних технологіях не можна розцінювати як негативне явище, хоча б по тій причині, що ущільнення вкладається в межі допустимих і оптимальних значень для росту сільськогосподарських культур. За даними Г.В. Назаренка [302] формування ущільнених прошарків в оброблюваному шарі ґрунту супроводжується значними якісними змінами фізичних властивостей чорнозему. Виявлено просторову переорієнтацію ґрунтових пор у вертикальному напрямку, які відносяться до ефективних. Працями Ф.Є. Колясева [215, 216, 218] доведено, що така побудова 0–30 см шару ґрунту у найбільшій мірі наближається до “агрономічного ідеалу”.

При розрахунку коефіцієнтів кореляції виявлено закономірність, яка полягає у тому, що при оранці коефіцієнти кореляції між польовою вологістю та щільністю будови мають високе обернене значення: $R = -0,80 - 0,88 \pm 0,09$ при $F_p > F_t$. (25 > 2,86), а при глибокому та мілкому безполицевому обробітку коефіцієнти кореляції знижуються до середнього рівня: $R = -0,42 - 0,45 \pm 0,06$ при $F_p > F_t$.

Побудовані графіки свідчать про те, що зв'язок між щільністю будови та рівнем зволоження має відхилення від лінійного. Розрахунок кореляційного відношення показує, що зв'язок між параметрами підвищується до $\eta = 0,89 - 0,91 \pm 0,12$ при безполицевому обробітку на

Таблиця 5.1. Вплив способу обробітку на значення щільності будови у шарі ґрунту 0–30 см при довгостроковому (8–10 років) безполіцевому чорноземі типовому середньогумусному легкоглинистому

Значення квантелів Рх	Оранка на 22-32 см			Безполіцевий обробіток на 22-32 см			Безполіцевий обробіток на 5-12 см			Потуж- ність шару, см
	НВ, %	Щільність будови, г/см³		НВ, %	Щільність будови, г/см³		НВ, %	Щільність будови, г/см³		
		фактична	приве- дена		фактична	приве- дена		фактична	приве- дена	
0,90	32,2	0,97	0,92	30,0	1,07	0,95	31,0	1,04	1,03	0-10
0,75	32,0	1,00	0,94	28,5	1,17	0,98	30,0	1,07	1,04	
0,50	30,0	1,08	0,96	27,3	1,23	1,00	29,2	1,13	1,05	
0,25	27,9	1,20	1,00	26,4	1,28	1,02	28,9	1,15	1,05	
0,10	27,1	1,24	1,02	26,0	1,30	1,03	27,1	1,24	1,07	10-20
0,90	30,0	1,07	1,05	29,0	1,13	1,12	29,3	1,13	1,15	
0,75	29,3	1,13	1,06	28,5	1,17	1,13	28,1	1,19	1,16	
0,50	28,3	1,18	1,08	27,7	1,21	1,14	27,0	1,25	1,17	
0,25	26,4	1,28	1,11	26,4	1,28	1,16	26,0	1,30	1,18	20-30
0,10	25,7	1,31	1,12	25,4	1,33	1,17	25,0	1,35	1,20	
0,90	30,0	1,07	1,04	29,9	1,10	1,13	29,5	1,12	1,12	
0,75	29,3	1,13	1,05	28,9	1,15	1,15	29,0	1,14	1,12	
0,50	28,1	1,19	1,07	28,1	1,19	1,16	27,5	1,22	1,14	20-30
0,25	26,7	1,26	1,10	26,6	1,27	1,18	26,8	1,26	1,16	
0,10	26,2	1,29	1,11	25,7	1,31	1,20	26,4	1,28	1,15	

НІР_{0,5} 0–10 — 0,037 г/см³, 10–20 — 0,031 г/см³, 20–30 — 0,041 г/см³.

22–32 см та до $\dot{\eta}=0,92-0,95\pm0,14$ при безполицевому обробітку на 10–12 см. Оскільки $t_{\dot{\eta}}=12,3-17,5>t_{0,05}=2,05$ (в середньому для всіх розрахунків), то це свідчить про достовірність і значимість кореляційного нелінійного зв'язку.

За методикою Б.А. Доспехова [146] ми розраховували критерій лінійності кореляції. Виявилось, що для рівнянь, наведених у табл. 5.2, гіпотеза про лінійність зв'язку відкидається по причині $F_{\phi}>F_{0,1}$ (при $F_{0,5}=2,30$; $F_{0,1}=3,20$; $F_{\phi}=10,7-15,3$). Користуватися лінійною кореляцією і регресією не можна. Нелінійність істотна на 1 % рівні. Розрахунок індексу детермінації ($\dot{\eta}^{2**}$) вказує на те, що частка варіації щільності будови під впливом зволоженості ґрунту при криволінійній залежності підвищується в середньому до 83–85 %, тоді як при лінійній залежності становила 48–51 %, що у 1,6–1,7 раза нижче.

На рис. 5.3 зображено графіки залежності щільності будови від польової вологості. У шарах ґрунту 0–10 см, 10–20 см і 20–30 см у випадку глибокого та мілкового безполицевих обробітків в інтервалі найбільш типових значень вологості утворюється своєрідне “плато”, коли в процесі висушування чорнозему не відбувається значних ущільнень. У першому наближенні цей інтервал вологості у шарах ґрунту 0–10 см, 10–20 см та 20–30 см становить від 25–27 % до 19–20 %.

У шарі ґрунту 0–10 см при виконанні оранки зміна щільності будови від зміни польової вологості носить лінійний характер, а при

Таблиця 5.2. Вплив системи обробітку на залежність щільності будови від польової вологості чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого у шарі ґрунту 0–30 см

Потужність шару, см	Рівняння регресії	Кореляційне відношення
Безполицевий обробіток на 22–32 см		
0–10	$y=1,01+0,037x-0,0014x^2$	$0,90\pm0,012$
10–20	$y=1,24+0,013x-0,0006x^2$	$0,89\pm0,10$
20–30	$y=1,37+0,039x-0,0006x^2$	$0,91\pm0,11$
Безполицевий обробіток на 5–12 см		
0–10	$y=1,41-0,018x+0,0002x^2$	$0,90\pm0,012$
10–20	$y=1,73-0,025x+0,00012x^2$	$0,89\pm0,10$
20–30	$y=1,34-0,00056x-0,00052x^2$	$0,91\pm0,11$

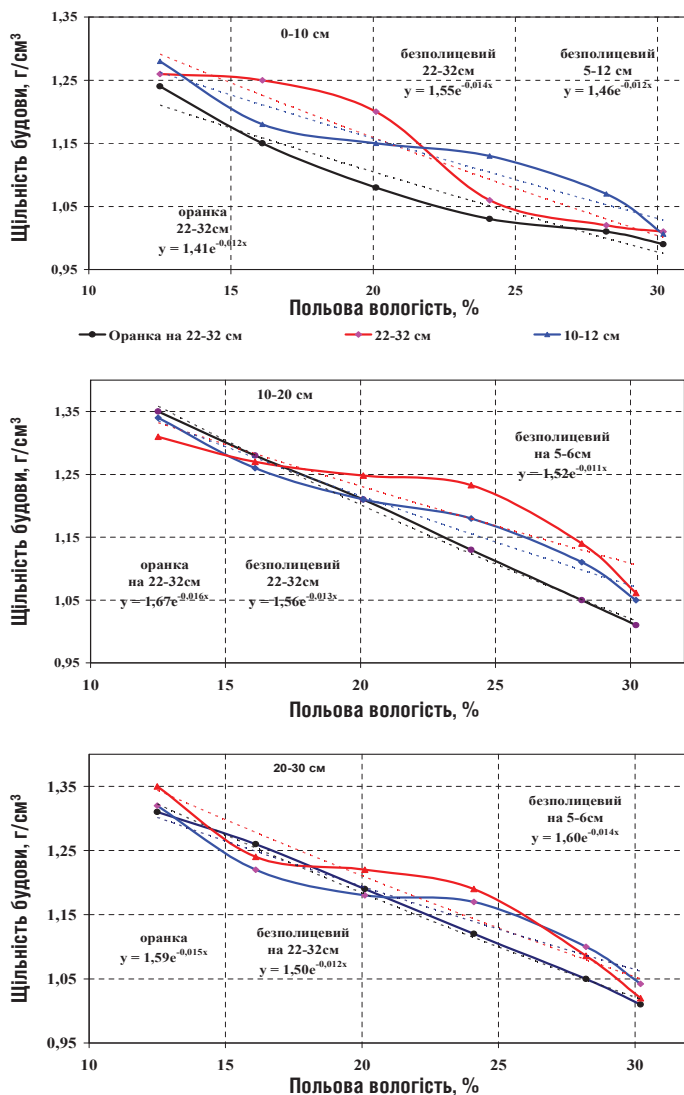


Рис. 5.3. Залежність між польовою вологістю (%) та щільністю будови (г/см³) чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого при довгостроковому (8–10 років) безпліцевому обробітку (г/см³)

глибокому безполицевому обробітку значне наростання ущільнення починається при вологості 20–21 %, а при безполицевому на 10–12 см при 17–27 % польової вологості. В зазначеному інтервалі польою вологості утворюється “плато”, де щільність будови мало змінюється.

Пояснення природи цього явища, на нашу думку, слід шукати у зміні структурного стану 0–30 см шару чорнозему типового під впливом різних способів обробітку. Так, підвищення вмісту агрономічно цінних водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм до рівня вищого за 50 % від загальної кількості та утворення максимуму “переважаючих” розмірів структурних агрегатів в інтервалі розмірів 2–5 мм створюють умови для утворення “плато” в ході висушування ґрунту.

5.3. Довгостроковий вплив різних способів обробітку на розущільнення генетичних горизонтів чорноземів типових середньо- і малогумусних

Багаторічними дослідженнями встановлено [126], що систематичне виконання безполицевого обробітку посилює ґрунтотворення чорноземів в агроценозах за рахунок покращення гідротермічних умов у річному і сезонному циклах, що посилює ґрунтовідновну активність живих кореневих систем у процесі відтворення агрофізичного стану чорноземів типових в агроценозах. На чорноземах типових середньогумусних легкоглинистих при виконанні довгострокової (більше 75 років) і систематичної оранки (10 років) без внесення гною та мінеральних добрив (див. табл. 5.3.) розпушування метрової товщі становило 3,1–3,4 %, у тому числі, у горизонті Н — 2,4–3,2 %; у перехідних горизонтах — 1,6–5,6 %. При внесенні органо-мінерального живлення (12 т/га гною + $N_{80-85}P_{75-80}K_{65-70}$) метрова товща розущільнюється на 4,7 %, у тому числі, у горизонті Н — 7,1 %. При систематичному безполицевому обробітку (10 років) чорнозему середньогумусного легкоглинистого без внесення органічних і мінеральних добрив розущільнення метрової товщі досягло 7,9 %; горизонту Н — 9,5 %; H_p — 9,5 %; RH_k — 5,5 %. При внесенні органо-мінерального живлення (12 т/га гною + $N_{80-85}P_{75-80}K_{65-70}$) розущільнення метрової товщі чорнозему збільшилося більше ніж у 2 рази ніж при оранці. Гумусний горизонт розущільнився на 7,9–9,5 % (див. табл. 5.4).

На чорноземах типових малогумусних в умовах 3–5-пільних сівозмінах за систематичної оранки при внесенні $N_{62}P_{66}K_{81}$ на фоні внесення 7 т/га побічної продукції розущільнення метрової товщі

Таблиця 5.3. Довгостроковий вплив (10 років) способу обробітку на щільність будови генетичних горизонтів чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого (південний Лівобережний лісостеп України)

А.

Генетичний горизонт	Потужність шару ґрунту, см	Довгострокова оранка на 27–32 см (більше 75 років)		В стаціонарному досліді: без внесення добрив							
		Оранка на 22–32 см		Безпліцевий обробіток на 22–32 см		Поверхневий обробіток на 10–12 см		Мінімальний обробіток на 5–6 см			
		г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$		
H _k	0–40	1,24	$\frac{-0,03}{2,4}$	1,22	$\frac{-0,04}{3,2}$	1,15	$\frac{-0,11}{8,7}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,3}$	1,15	$\frac{-0,11}{7,3}$
H _{p(k)}	40–70	1,23	$\frac{-0,04}{3,2}$	1,21	$\frac{-0,07}{5,6}$	1,14	$\frac{-0,12}{9,5}$	1,12	$\frac{-0,14}{11,1}$	1,13	$\frac{-0,13}{10,3}$
PH _(k)	70–100	1,25	$\frac{-0,02}{1,6}$	1,23	$\frac{-0,03}{2,4}$	1,19	$\frac{-0,07}{5,6}$	1,13	$\frac{-0,13}{10,3}$	1,14	$\frac{-0,10}{7,3}$
H _k + PH _(k)	0–100	1,23	$\frac{-0,04}{3,1}$	1,22	$\frac{-0,04}{3,4}$	1,16	$\frac{-0,1}{7,9}$	1,14	$\frac{-0,12}{9,5}$	1,14	$\frac{-0,10}{7,3}$

В.

Генетичний горизонт	Потужність шару ґрунту, см	В стаціонарному досліді: 12 т/га гною + N ₈₀₋₈₅ P ₇₅₋₈₀ K ₆₅₋₇₀								Безполіцейвий обробіток на 22-32 см (5 т/га соломи)		Переліг 10 років	
		Оранка на 22-32 см		Безполіцейвий обробіток на 22-32 см		Поверхневий обробіток на 10-12 см		Мінімальний обробіток на 5-6 см					
		г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$
H _k	0-40	1,17	$\frac{-0,09}{7,1}$	1,17	$\frac{-0,10}{7,9}$	1,15	$\frac{-0,12}{9,5}$	1,12	$\frac{-0,13}{10,4}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,1}$	1,09	$\frac{-0,17}{13,5}$
H _{D(k)}	40-70	1,20	$\frac{-0,05}{3,4}$	1,14	$\frac{-0,12}{9,5}$	1,10	$\frac{-0,17}{13,4}$	1,17	$\frac{-0,08}{6,40}$	1,13	$\frac{-0,13}{10,3}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,2}$
PH _(k)	70-100	1,21	$\frac{-0,05}{3,40}$	1,17	$\frac{-0,05}{3,9}$	1,14	$\frac{-0,13}{10,2}$	1,21	$\frac{-0,04}{3,20}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,20}$	1,21	$\frac{-0,05}{4,00}$
H _k + PH _(k)	0-100	1,20	$\frac{-0,06}{4,7}$	1,16	$\frac{-0,11}{8,70}$	1,14	$\frac{-0,13}{10,2}$	1,16	$\frac{-0,09}{7,20}$	1,18	$\frac{-0,08}{6,4}$	1,14	$\frac{-0,12}{9,50}$
P _k	160-180	1,26		1,27		1,27		1,25		1,26		1,26	

HP_{0,05}: 0-40 см — 0,03 г/см³; 40-70 см — 0,04 г/см³; 0,05 г/см³; 70-100 см — 0,06 г/см³.

Таблиця 5.4. Довгостроковий вплив (більше 36 років) способу обробітку на щільність будови генетичних горизонтів чорнозему типового середньогумусного легкосуглинкового (Драбівське дослідне поле, 2010-2011рр.)

А. 2010 рік: 5-пілпна сівозмiна — зернові — 60 %, технічні — 20 %; горох — 20 %

Генетичний горизонт	Потужність шару ґрунту, см	Оранка на 22-32 см		Безпліццевий обробіток на 22-25см		Поверхневий обробіток на 8-12 см		Переліг 40 років	
		г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$
		N ₆₂ P ₆₆ K ₆₁ на фоні внесення 7 т/га побічної продукції							
Hk	0-40	1,25	$\frac{-0,01}{0,80}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,2}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,90}$	1,15	$\frac{-0,11}{8,7}$
Hp(k)	40-70	1,24	$\frac{-0,02}{1,60}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,90}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,90}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,90}$
PH(k)	70-100	1,25	$\frac{-0,01}{0,80}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,10}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,90}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,20}$
Hk+ PH(k)	0-100	1,25	$\frac{-0,01}{0,80}$	1,18	$\frac{-0,08}{6,40}$	1,18	$\frac{-0,08}{6,40}$	1,18	$\frac{-0,08}{6,40}$

В. 2011 рік: 3-пільна сівозмінна — 66 % кукурудза; 33 % — ячмінь

Генетичний горизонт	Потужність шару ґрунту, см	Оранка на 22-32 см		Безпліцевий обробіток на 22-25см		Поверхневий обробіток на 8-12 см		*Багаторічні злакові трави 10 років	
		г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$	г/см ³	$\frac{\pm \text{г/см}^3}{\%}$
		$N_{62}P_{66}K_{61}$ на фоні внесення 7 т/га побічної продукції							
H_k	0-40	1,20	$\frac{-0,06}{4,8}$	1,17	$\frac{-0,09}{7,2}$	1,13	$\frac{-0,13}{10,3}$	1,16	$\frac{-0,10}{8,0}$
$HP_{(k)}$	40-70	1,19	$\frac{-0,07}{5,5}$	1,15	$\frac{-0,11}{8,7}$	1,10	$\frac{-0,16}{12,7}$	1,11	$\frac{-0,15}{12,0}$
$PH_{(k)}$	70-100	1,21	$\frac{-0,05}{4,0}$	1,18	$\frac{-0,08}{6,4}$	1,12	$\frac{-0,14}{11,1}$	1,14	$\frac{-0,12}{9,5}$
$H_k + PH_{(k)}$	0-100	1,20	$\frac{-0,06}{4,8}$	1,16	$\frac{-0,10}{7,9}$	1,11	$\frac{-0,15}{11,9}$	1,15	$\frac{-0,11}{8,7}$
P_k	160-180	1,26		1,26		1,26		1,26	

* Вивідне поле злакових трав. $HP_{0,05}$: 0-40 см — 0,03 г/см³, 40-70 см — 0,04 г/см³, 0,05 г/см³, 70-100 см — 0,06.

відносно горизонту P_k становило 0,8–4,8 %. У 5-пільній сівозміні за щільністю будови метрова товща чорнозему малогумусного була не диференційованою за щільністю будови, а в 3-пільній сівозміні розушільнення горизонту H становило — 4,8 %; H_{P_k} — 7,2 %; P_{H_k} — 4,0 %.

При довгостроковому виконанні безполицевого обробітку (36 років) на чорноземах малогумусних розушільнення метрової товщі збільшилося в 2–6 разів, гумусного горизонту — 1,5–9 разів. Більш високе розушільнення було в перехідних горизонтах: 7,9–8,7 %.

При безполицевому обробітку заміна гною на внесення соломи в кількості 7 т/га на фоні $N_{80-85}P_{75-80}K_{65-70}$ забезпечувала розушільнення як метрової товщі, так і окремих її горизонтів відносно оранки: в перехідних горизонту — 7,2–10,3 %, що вище ніж при оранці у 2,1–3 рази. При поверхневому обробітку чорноземів як без внесення органічних і мінеральних добрив, так і при їхньому застосуванні, відбувається розушільнення метрової товщі незалежно від гранулометричного складу та вмісту гумусу: 9,5–11,9 %. При цьому горизонт H розушільнюється на 7,3–10,4 %, а перехідні горизонти — на 7,7–11,9 %. Мінімізація обробітку чорнозему до 5–6 см сприяє розушільненню як метрової товщі, так і окремих її генетичних горизонтів. Утримання чорноземів типових середньо- і малогумусних у стані перелогу впродовж 10–36 років забезпечило розушільнення гумусного горизонту відносно P_k на 8,7–13,5 %, у перехідному горизонті H_{P_k} — 7,9–8 %, а в метровій товщі — 6,5–9,5 %, що свідчить про те, що систематичне виконання безполицевих обробітків на різну глибину з внесенням різних видів органічних добрив моделює природний процес розушільнення метрової товщі чорноземів типових в агроценозах сівозмін.

Між щільністю будови метрової товщі і вмістом агрономічно цінних структурних окремоностей розміром 5–2 мм за систематичної оранки кореляційний зв'язок обернений на середньому рівні ($R=-0,41-0,51\pm0,03$; $R^2=0,17-0,26$), тоді як при безполицевому та поверхневому обробітках — на рівні сильної оберненої кореляції ($R=-0,65-0,71\pm0,03$; $R^2=0,42-0,50$). Вміст агрономічно цінних окремоностей розміром 5–3 мм в 0–40 см шарі ґрунту зростав на 5,4–7,6 % відповідно обробіткам, а в 0–70 см товщі чорнозему на 2,8–3,5 %.

Між щільністю будови метрової товщі та вмістом структурних окремоностей 2–1 мм та 1–0,25 мм виявлено подібну залежність. Звертає увагу те, що при поверхневому обробітку в шарах ґрунту 0–40 см

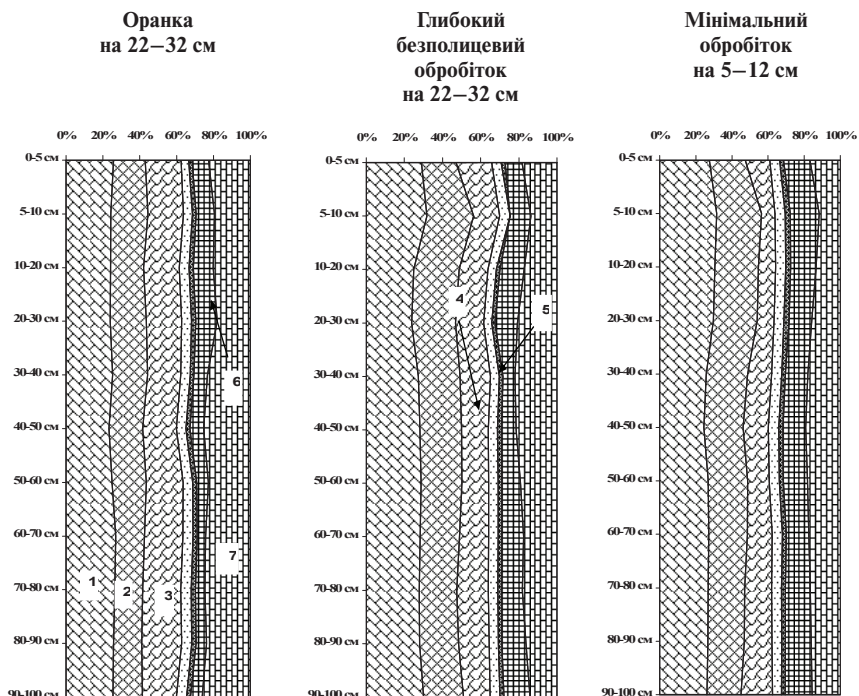


Рис. 5.4. Вплив системи обробітку чорнозему типового на диференціальну шпаруватість 0–100 см шару чорнозему типового при вирощуванні кукурудзи на силос, 1991 рік: 1 — тверда фаза ґрунту; 2 — об'єм агрегатних шпарин; 3 — об'єм між-агрегатних шпарин; 4 — об'єм недоступної вологи; 5 — об'єм рихло зв'язаної вологи; 6 — доступна волога; 7 — об'єм повітря

та 0–70 см загальний вміст окремостей 2–0,25 мм сягає 27,7 %, що вище ніж при оранці та безполицевому обробітку 4–5 %. Саме зазначені фракції структурних окремостей визначають водопідйомну властивість метрової товщі чорнозему, що пов'язано з посиленням водопідйомної здатності ґрунтової товщі та підтягуванням CaCO_3 до поверхні ґрунту.

На рис. 5.4 показано диференціальну шпаруватість метрової товщі чорнозему типового малогумусного при довгостроковому виконанні різних способів обробітку. Встановлені закономірності для чорноземів типових середньогумусних повторюються для чорноземів

типових малогумусних легкоглинистих: за безполіцевого обробітку зростає агрегатна шпаруватість та об'єм капілярної вологи, яка більшою мірою заповнює об'єм агрегатної шпаруватості порівняно з оранкою. Процес покращення диференціальної шпаруватості за безполіцевого обробітку аналогічний стану при довгостроковому утриманні перелугу.

Отже, між вмістом, якісним складом гумусу, кількістю водостійких агрегатів, оптимальною щільністю будови, диференційною шпаруватістю чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України існує багатопараметрична спряженість, а ґрунтозахисні технології сприяють підвищенню рівня спряженості між цими параметрами, у більшій мірі, ніж систематична оранка, що слід розцінювати як прояв агрофізичної оптимізації чорнозему типового.

Довгостроковий безполіцевий обробіток чорноземів типових середньо- і малогумусних лівобережної частини Лісостепу з поверхневою заробкою органічних (10–12 т/га гною) добрив, пожнивних та корневих решток (5–7 т/га) із створенням на поверхні ґрунту шару органічної мульчі є фактором відтворення агрофізично доцільної побудови метрової товщі чорнозему за рахунок розущільнення метрової товщі відносно ґрунотвірної породи. Гумусний горизонт набував зернисто-дрібногрудкуватої структури, пухкого складення з добре вираженою агрегатною та міжагрегатною шпаруватістю, а весь гумусований горизонт ($H+H_{p_k}$) набув однорідної побудови з наростанням оструктуреності та пухкого зложення, що є детермінуючою ознакою процесу посилення природного ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України у напрямку утримання перелугу.

СКЛАД ҐРУНТОВОГО ПОВІТРЯ ТА СЕЗОННІ ЦИКЛИ ҐРУНТОВИХ ПРОЦЕСІВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ЧОРНОЗЕМУ ТИПОВОГО

6.1. Газово-температурний режим чорнозему за різних способів обробітку

Чорноземи типові здатні ущільнюватись до значень $>1,35 \text{ г/см}^3$, що значно обмежує діяльність ґрунтових мікроорганізмів. Ущільнення ґрунту є причиною порушення зв'язку шпаруватого середовища з атмосферою, що прямо пов'язано з дифузією O_2 в товщу чорнозему. Як результат — в переущільнених чорноземах, особливо у підорних горизонтах, виникають умови “замкнутої ґрунтової атмосфери”, в якій кисень стає недоступним для ґрунтових аеробних мікроорганізмів, а у верхніх шарах починають діяти анаероби, які здатні трансформувати органічну речовину до кінцевих продуктів розкладу [251, 238, 239, 294].

Ущільнення ґрунту вище певної межі (більше $1,35\text{--}1,40 \text{ г/см}^3$) пов'язано з переходом частини ґрунтового профілю в стан анабіозу, різкого зниження рівня життєвих процесів ґрунтової мікрофлори, а також з якісними та кількісними змінами у складі ґрунтового повітря [38, 40, 72, 73, 206]. У науковій літературі відсутні дані про критерії оцінки оптимальної побудови орного шару по їх газових параметрах, а також недостатньо даних про вплив глибокого розпушування на теплофізичні властивості ґрунтів [249]. Дані про вплив системи обробітку на вміст O_2 та CO_2 у ґрунтовому повітрі досить різні [475]. Дослідження авторів [350] показують, що незалежно від обробітку у шарі ґрунту 0–20 см вміст кисню у ґрунтовому повітрі не знижується нижче 20 %, а вміст CO_2 не підвищується більше ніж 2–5 %. Ущільнення ґрунту призводить до зниження O_2 і появи метану, етилену та інших продуктів анаеробного розпаду [484, 486], що пов'язують

зі зменшенням об'єму ґрунтових шпарин розміром більше 30 мкм [478, 482].

Роботи інших авторів [480] показали, що в глинистих ґрунтах на глибині 15 см вміст O_2 при прямому посіві пшениці озимої був більш високим, ніж при оранці. Тому, що у необробленому ґрунті створюється система безперервних шпарин і каналів, які сприяють кращому руху O_2 в ґрунті.

Дослідження А.Ф. Вітер [72–73] показали, що за оранки при поглибленні орного шару від 20–22 см до 35–37 см вміст CO_2 у шарі ґрунту 0–40 см знижується на 4,3 %. Інтенсивність його виділення з поверхні ґрунту знижується на 20 %, а концентрація CO_2 у приповерхневому шарі атмосфери нижча на 7,5 %. Ландіна М.М. [239] пропонує в якості головного критерію оцінки ефективності органічних добрив використовувати склад ґрунтового повітря, який є інтегральним показником біохімічних властивостей ґрунту. Ефект від внесення органічних добрив на ґрунтову родючість не обмежується компенсацією поживних речовин, а пов'язаний із відтворенням природної саморегуляції кругообігу вуглекислоти між ґрунтом і атмосферою [158–159]. Багатьма дослідниками зроблено висновок про те, що в посушливих зонах Лісостепу особливо небезпечним є надлишковий аеробіозис, який призводить до розкладу органічної речовини, посиленого утворення нітратного азоту та висушування ґрунту [58, 59, 104, 162–163, 239, 309, 324, 341–342, 345, 424].

6.1.1. Типізація параметрів газового режиму чорнозему [*]. На основі сукупності даних по вмісту CO_2 та O_2 у ґрунтовому повітрі в ланцюгу 10-пільної сівоzmіни (горох — озима пшениця — кукурудза на зерно — кукурудза на силос) нами проведено типізацію значень вмісту газових складових (рис. 7.1).

Виявилося, що за систематичної оранки вміст CO_2 у 0–10 см шарі чорнозему по квантелю $P_{0,25}$ має значення 0,39 %, а за безполіцевих обробітків від 22–27 см до 5–12 см стабілізується на більш високому рівні — 0,59–0,75 %. З глибиною у шарі ґрунту 10–20 см вміст CO_2 у ґрунтовому повітрі найвищим виявився при мілкому безполіцевому обробітку на 10–12 см — 0,87–1,01 %. Вміст CO_2 по квантелю $P_{0,75}$,

* Демиденко О.В. Оцінка агрофізичних умов родючості за складом ґрунтового повітря при застосуванні технології біологічного землеробства // Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: Монографія / за ред. М.К. Шикли. — К.: Оранта, 2000. — С. 270–276.

який відповідає типовому максимальному значенню, залежав від системи обробітку.

За систематичної оранки та глибокого безполицевого обробітку у шарі ґрунту 0–10 см вміст CO_2 був у межах 1,02–1,03 %, а при безполицевому обробітку на 5–12 см — 0,89–0,93 %.

У шарі ґрунту 10–20 см вміст CO_2 підвищується від оранки до безполицевого обробітку на 5–12 см: від 1,07 % до 1,37 %, а у шарі ґрунту 20–30 см закономірність була обернена — при оранці CO_2 містилося 1,82 %, на мілкому безполицевому обробітку вміст вуглекислоти досяг межі депресивної концентрації для окисних процесів у ґрунті

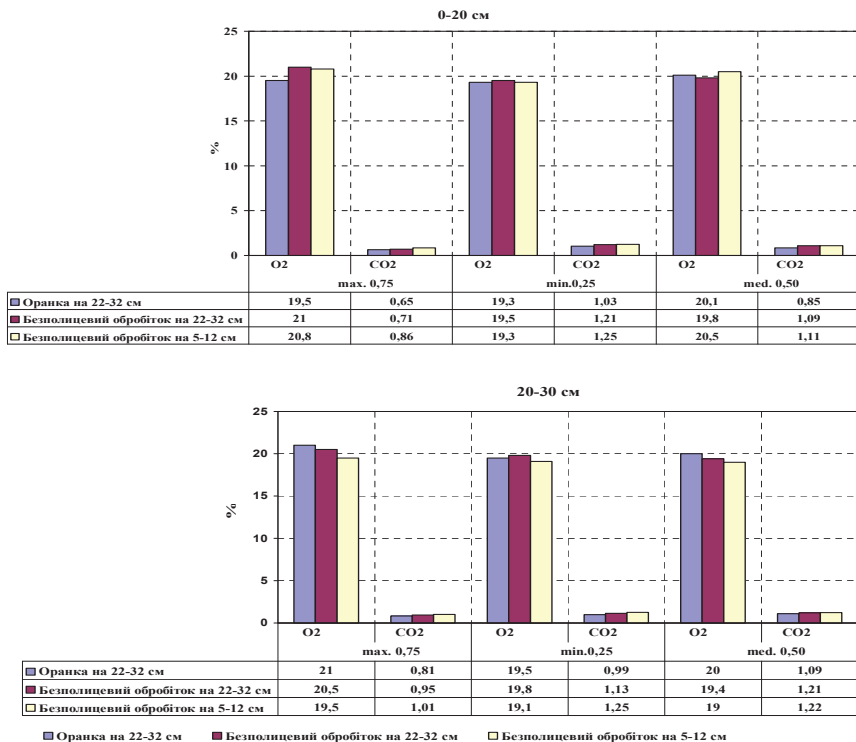


Рис. 6.1. Типізовані параметри складових ґрунтового повітря чорнозему типового середньогумусного легкоголинистого у ланці зерно-просапної 10-пільної сівозміни при внесенні $\text{N}_{85}\text{P}_{75}\text{K}_{65} + 15$ т/га гною (1989–1992 рр.)

(1,25 %). Вміст CO_2 по медіані ($P_{0,50}$) був у межах допустимих значень незалежно від системи обробітку ґрунту, але при оранці депресивний рівень концентрації CO_2 був у шарі ґрунту 20–30 см — 1,22 %.

Під кінець ротації культур у сівозміні перепад вмісту вуглекислоти ($P_{0,25-0,75}$) найвищим був при оранці, а по мірі мінімалізації основного обробітку вміст CO_2 стає більш стабільний. Розрахунок кореляційної залежності між вмістом CO_2 у ґрунтовому повітрі та польовою вологістю показав, що між цими показниками існує тісний обернений кореляційний зв'язок, який за безполіцевого обробітку посилюється до рівня сильної кореляції: $R=0,75-0,80 \pm 0,90$ (t_T-t_P ; $2,41 < 10,35$). У шарі ґрунту 0–10 см на одиницю зменшення, або підвищення зволоженості ґрунту найвища зміна концентрації CO_2 відбувається при оранці, а при безполіцевому обробітку значення коефіцієнтів регресії знижується. У шарі ґрунту 10–20 см при оранці на одиницю висушування або зволоження ґрунту зміна вмісту CO_2 становила 0,045 %, а при безполіцевих обробітках 0,062–0,065 %. В шарі ґрунту 20–30 см при оранці величина коефіцієнта регресії — 0,035 %; при глибокому безполіцевому обробітку — 0,050–0,053 %, а при безполіцевому обробітку на 10–12 см коефіцієнт регресії мав найнижче значення — 0,016 % CO_2 на одиницю зміни польової вологості.

Типізація значень вмісту O_2 у шарі ґрунту 0–30 см показала, що мінімальний і максимальний типовий вміст кисню в ґрунтовому повітрі не виходив за межі допустимого значення (19–21 %). Якщо при глибоких обробітках (оранка та безполіцевий обробіток на 22–32 см) вміст O_2 по $P_{0,25}$ становив 20,3–21,4 % та 20,5–20,9 %, то при мілкому та мінімальному безполіцевих обробітках — 19,7–21,0 % та 20,0–20,9 % відповідно. Вміст кисню по $P_{0,75}$ (мінімальний вміст) не опускався нижче 18 % на всіх варіантах досліду. У шарі 0–10 см при мілкому та мінімальному безполіцевих обробітках вміст кисню був дещо вищим — 19,2–19,7 % проти 18,5–18,7 % при глибоких обробітках. По медіані ($P_{0,50}$) вміст O_2 незалежно від системи обробітку знаходився у межах норми і не виходив за межі 19–20 %. Оцінюючи перепад вмісту кисню по міжквартильному розмаху ($P_{0,25}-P_{0,75}$) виявилось, що найсуттєвіша різниця була при оранці та при глибокому безполіцевому обробітку — 2,0–2,4 %, а при мілкому та мінімальному безполіцевих обробітках перепади вмісту O_2 становили — 1,3–2,0 % та 0,80–2,2 % відповідно, що свідчить про стабілізацію вмісту кисню у шарі 0–30 см.

На рис. 6.2 показано, що під кінець ротації культур зерно-пропашний 10-пільний сівозміні при вирощуванні кукурудзи найбільш оптимізованим газовий режим ґрунту був при виконанні безпліцевого обробітку на 10–12 см. Упродовж вегетаційного періоду зберігається депресивна концентрація CO₂ (1,23–1,25 %) при оптималь-

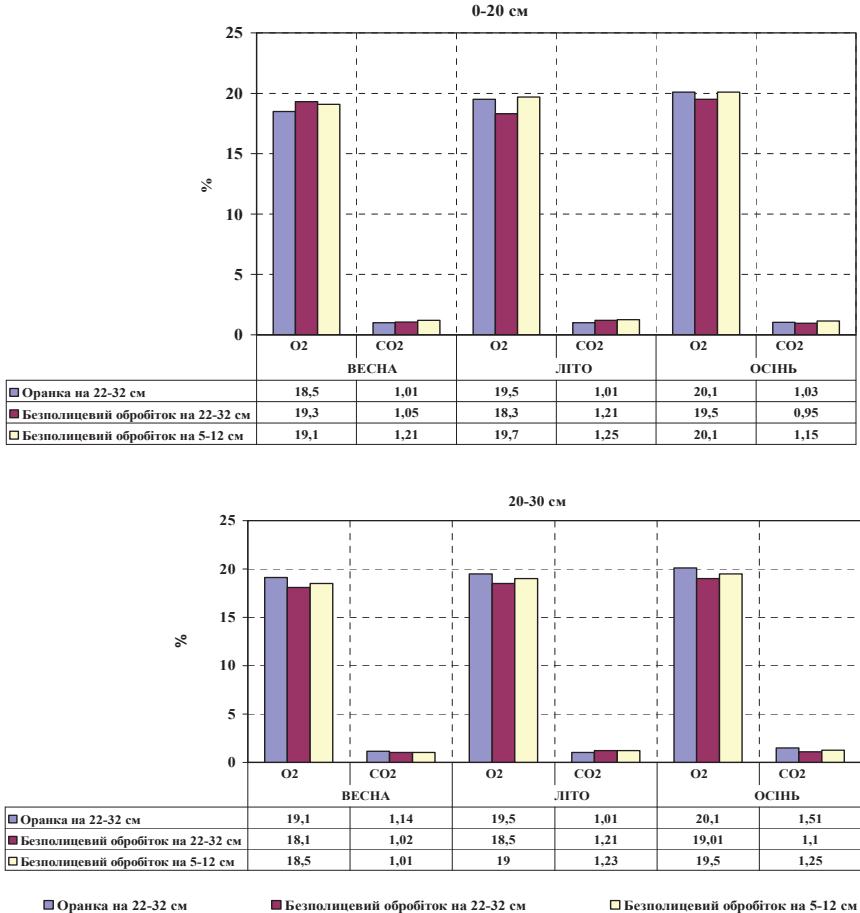


Рис. 6.2. Довгостроковий вплив різних способів обробітку чорнозему типового на динаміку складових ґрунтового повітря при вирощуванні кукурудзи на зерно на 9–10-й рік проведення досліджень

ному співвідношенні з вмістом O_2 у ґрунтовому повітрі порівняно з оранкою.

Довгострокове виконання різних систем обробітку позитивно впливало на газообмін. Розрахунок дихального коефіцієнта по медіані показав, що виконання безполицевих обробітків на різну глибину сприяє еквівалентному обміну між CO_2 та O_2 у ґрунтовому повітрі. Виконання глибокого на 22–32 см та мілкого на 10–12 см обробітків у найбільшій мірі сприяє процесам еквівалентного обміну між складовими ґрунтового повітря у шарі ґрунту 0–30 см: $D_k=0,77-0,80$ проти $D_k=0,69$ при оранці (табл. 6.1).

Систематичне застосування безполицевого обробітку стабілізує вміст O_2 в 0–30 см шарі чорнозему типового. Для підтвердження зроблених висновків доцільним є оцінити вплив різних способів обробітку чорнозему типового на зміну складу ґрунтового повітря при вирощуванні кукурудзи на зерно на 9–10-й рік від початку проведення досліджень за вегетаційний період (табл. 6.2). Виявлено, що у весняний період вміст O_2 і CO_2 не виходив за межі оптимально допустимих значень для чорноземів типових.

Найвищою концентрація CO_2 в 0–20 см шарі ґрунту виявлена при безполицевому обробітку на 5–12 см (1,21 %), а при оранці на 25–27 см

Таблиця 6.1. Довгостроковий вплив різних способів обробітку чорнозему типового на типізовані значення дихального коефіцієнта в 0–30 см шарі ґрунту у ланцюгу зерно-просапної 10-пільної сівозміни (1989–1992 рр.)

Глибина, см	Типізовані параметри дихального коефіцієнта D_k		
	max (0,75)	min (0,25)	med (0,50)
<i>Різноглибинна оранка на 22–32 см</i>			
0–20	1,41	0,65	0,75
20–30	1,21	0,62	0,61
<i>Різноглибинний безполицевий обробіток на 22–32 см</i>			
0–20	1,31	0,85	0,86
20–30	1,38	0,72	0,81
<i>Безполицевий обробіток 5–12 см</i>			
0–20	1,25	0,75	1,02
20–30	1,45	0,82	0,95

Таблиця 6.2. Довгостроковий (9–10 років) вплив різних способів обробітку чорнозему типового на значення дихального коефіцієнта в 0–30 см шарі ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно

Глибина, см	Місяць вегетаційного періоду		
	Травень	Липень	Вересень
<i>Різноглибинна оранка на 25–27 см</i>			
0–20	0,45	0,63	0,82
20–30	0,61	0,65	1,21
<i>Різноглибинний безполицевий обробіток на 25–27 см</i>			
0–20	0,62	0,79	0,98
20–30	0,45	0,76	0,61
<i>Безполицевий обробіток 10–12 см</i>			
0–20	0,96	0,98	1,12
20–30	1,24	0,86	0,96

в шарі ґрунту 20–30 см: 1,14 %. При глибокому безполицевому обробітку вміст CO_2 мав проміжні значення. В липні при безполицевих обробітках на 25–27 см і 5–12 см вміст CO_2 досяга значень 1,21–1,25 %, тоді як при оранці вміст вуглекислоти був меншим — 1,20 %.

На період дозрівання кукурудзи за оранки вміст CO_2 у шарі ґрунту 20–30 см зріс до 1,51 %, тоді як при безполицевих обробітках був на рівні депресивних концентрацій (більше 1,21–1,23 %) для окисних процесів у ґрунті. Значення D_k більш оптимальним ($D_k \sim 1,00$) було при систематичному виконанні безполицевих обробіток, тоді як при систематичній оранці його значення мало більше відхилення від оптимального значення за вегетаційний період вирощування кукурудзи (табл. 6.2).

За висновками багатьох дослідників [239, 253, 470] вміст CO_2 у ґрунтовому повітрі має обернений зв'язок з вмістом O_2 . Криві зміни газових складових дзеркально відображають одна одну. При цьому підвищення активності мікрофлори супроводжується падінням окислювально-відновлювального потенціалу (ОВП). Водночас анаеробні групи мікроорганізмів виділяють окислені форми органічних речовин, а анаеробні — відновлені. При затуханні мікробіо-

логічної активності у ґрунті починають переважати окислені форми органічних речовин, які сприяють підвищенню ОВП [344–345].

Виконання ґрунтозахисних технологій, в основі яких лежить обробіток ґрунту без обертання скиби, на чорноземах типових по-різному впливає на сам абрис кривих CO_2 та O_2 у ґрунті. При виконанні оранки абрис утворює “лійку”, яка перекинута донизу та вгору — за безполицевих обробітків [237–239].

6.2. Сезонні цикли ґрунтових процесів

Важливими, з погляду родючості чорноземів та їх продуктивності, є річні та сезонні цикли ґрунтових процесів [13–16, 76, 77, 132–133, 304, 455]. Потрібно відновити параметричну синхронізацію ґрунтових процесів [434]. Для того, щоб побудувати моделі, які змогли б дати можливість усебічно вивчати взаємодію у системі рослина — ґрунт на рівні параметричної самоорганізації або гомеостазу, прийнято визначити ряд параметрів, які повинні бути інформативними і легко вимірюваними [410, 436, 440, 443]. В якості базового фактору системи процесів, які визначають родючість, у більшості випадків використовують окисно-відновні умови [183, 304]. Одним із факторів, що впливають на значення ОВП є вміст CO_2 у ґрунтовому повітрі. На межі, коли концентрація CO_2 досягає рівня 1,20–1,25 % (порогова концентрація CO_2 для депресивних явищ в окисно-відновних процесах), значення ОВП починають нелінійно зменшуватись, що свідчить про початок гальмування окисних процесів у ґрунті. При депресивній концентрації CO_2 у ґрунтовому повітрі відбувається зниження ОВП і настає стала рівновага між окисними та відновними процесами. [341–343, 350].

Наші дослідження [126, 446] показали, що ОВП чорноземів у шарі ґрунту 0–10 см упродовж вегетаційного періоду в природних ценозах не залежить від вологості і температури, а прямо пов’язані зі значенням рН. Реакція ґрунтового середовища визначає інтенсивність мікробіологічних процесів, а підвищення вмісту CO_2 у ґрунтовому повітрі сприяє підкисленню чорноземів [451].

Дослідження, виконані М.К. Шиколою та Г.В. Назаренком [436] показали, що упорядкована сезонна ритмічність окисно-відновного стану та кислотно-лужної рівноваги чорноземів на фоні мінімального безполицевого обробітку регламенту є сезонний хід доступності елементів живлення та їх оптимальне співвідношення у ґрунтовому розчині.

В якості базового фактора системи процесів, що визначають родючість, використовують окисно-відновні умови. Виявилося, що у квітні за оранки значення ОВП було вищим, ніж при безполицевому обробітку на 10–12 см: в останньому випадку воно поступово знижувалось від весни до осені, тоді як при оранці відбувався процес широко амплітудної флуктуації ОВП. За допомогою квантельного аналізу ми визначили інтервали типових значень ОВП. Мінімально типові значення ($P_{0,25}$) ОВП при оранці були вищими на 13 мв, а максимально типові ($P_{0,75}$) — на 115 мв. Перепад ОВП від максимального до мінімального типового значення при оранці був у 3,4 раза, а середнє значення за вегетацію у 1,2 раза вищим, ніж за безполицевий обробіток. В оберненій залежності до ОВП знаходиться рН водної витяжки. Виявилось, що під впливом безполицевого обробітку на 10–12 см відбувається підкислення 0–10 см шару чорнозему.

Наші дослідження [124, 304, 446] показали, що між зміною ОВП, рНв, gH_2 і кількістю водорозчинного гумусу існує тісний зв'язок. Визначення вмісту водорозчинного гумусу [127, 171] показало, що за безполицевого обробітку вміст новоутворених гумусових речовин підвищувався з весни до літа, а потім знижувався до осені. Навпаки, при оранці вміст гумусових речовин поступово знижувався від весни до осені. Сезонна зміна реакції водної витяжки за оранки і безполицевого обробітку має однаковий характер, але в останньому випадку РЕ має дещо нижчі абсолютні значення. Максимально типове значення ($P_{0,75}$) рНв при оранці було вищим на 0,07, а мінімальне на 0,27 одиниць рН. Сезонна зміна (від pH_{min} до pH_{max}) при безполицевому обробітку була вищою у 3,7 раза, а середньосезонне значення рНв було вищим за оранки на 0,35 одиниць рН. З метою отримання даних про окисно-відновні умови, які можна було б порівняти між собою, нами використано показник gH_2 по Кларку — від'ємний логарифм тиску концентрації молекулярного водню.

Вважається, що у ґрунті переважають окисні умови, якщо $gH_2 > 27$. Розрахунки показали, що сезонний характер зміни gH_2 копіює зміну ОВП. Виявилося, що мінімальне значення цього параметра практично однакове як при оранці, так і при безполицевому обробітку, а максимальне типове значення ($P_{0,75}$) при оранці перевищувало граничний рівень на 5,15 одиниць gH_2 , тоді як при безполицевому обробітку лише на одиницю. Сезонна амплітуда gH_2 при безполицевому

обробітку була у 1,4 раза вищою, ніж при оранці, а середнє значення становило $rH_2=27,09$ і $rH_2=30,02$ відповідно до обробітків.

У табл. 6.3 показана сезонна зміна вмісту нітратної й аміачної форм азоту. Видно, що при безполицевому обробітку у першу половину вегетації культур вміст нітратної форми азоту дещо вищий, ніж при оранці, а у другу половину навпаки — при оранці вищий, ніж при безполицевому обробітку. В оберненій залежності змінювався вміст аміачної форми азоту у ґрунті.

При безполицевому обробітку у вегетативну фазу росту рослин вміст аміачної форми азоту у ґрунті був дещо меншим, ніж при оранці і, навпаки, у генеративну фазу вміст NH_4 у першому випадку під-

Таблиця 6.3. Вплив системи обробітку чорнозему типового на основні параметри родючості у шарі ґрунту 0–20 см

Параметр родючості	Величини значення квантелів			$\Delta_{0,75-0,25}$	Середнє значення параметра	$\pm Sb-t$
	$P_{0,25}$ (min)*	$P_{0,75}$ (max)	$P_{0,50}$ (med)			
ОВП, мЛВ	402 415	584 469	464 436	182 54	522 448	$\pm 65,0$ $\pm 20,0$
pHв	6,87 6,01	6,94 6,27	6,12 6,10	0,07 0,26	6,91 6,18	$\pm 0,10$ $\pm 0,09$
rH_2	25,94 25,85	32,15 28,00	27,69 26,73	6,21 2,15	30,02 27,09	$\pm 2,50$ $\pm 0,83$
NO_3^+ , мг/л	0,51 0,48	4,34 1,67	1,09 0,78	3,83 1,19	3,76 1,73	$\pm 1,30$ $\pm 0,43$
Ca^{2+} , мг/л	7,61 5,32	14,54 11,00	9,13 7,54	6,93 5,68	9,25 8,78	$\pm 2,20$ $\pm 1,24$
Водорозчинний фосфор, мг/л	0,26 0,48	0,90 1,05	0,46 0,67	0,74 0,57	0,70 0,96	$\pm 0,25$ $\pm 0,20$
Щільність будови, г/см ³	0,90 1,07	1,20 1,15	1,08 1,13	0,30 0,08	1,02 1,09	$\pm 0,025$ $\pm 0,021$
Польова вологість, %	17,8 18,4	24,3 23,7	20,4 20,9	6,5 5,3	21,7 21,2	$\pm 2,33$ $\pm 1,6$
Температура, t °C	17,2 17,2	20,8 21,7	19,2 20,1	3,6 4,5	18,8 18,8	$\pm 1,9$ $\pm 2,0$

* У чисельнику — оранка на 22–32 см; у знаменнику — безполицевий на 5–12 см.

вищується. У табл. 6.3 показано інтервальне значення вмісту NO_3^+ . При оранці вміст NO_3^+ змінюється від 4,34 до 0,51 мг/л, а при безполицевому обробітку від 1,67 до 0,48 мг/л 100 г ґрунту. Амплітуда зміни у першому випадку 3,83 мг/100г, у другому 1,19 мг/ 100 г ґрунту, а середнє значення вмісту NO_3^+ при оранці у 2,2 раза вище, ніж при безполицевому обробітку.

Такий характер поведінки різних форм мінерального азоту пов'язується з реакцією середовища й окисно-відновними умовами. Відомо, що оптимум розвитку нітрифікуючих бактерій при $\text{pH}=7,0$, а при $\text{pH}=5-6$ активність нітрифікації різко знижується [289]. У цьому полягає причина зниження нітратоутворення на чорноземах типових при застосуванні ґрунтозахисних технологій особливо у перші роки [127, 128, 440, 441].

Виявилося, що сезонна зміна вмісту водорозчинних фосфатів при оранці та безполицевому обробітку подібна, але проходить на різному кількісному рівні. У першому випадку максимум вмісту водорозчинних фосфатів спостерігався у травні, а у другому — у травні і липні. Інтервальна оцінка вмісту водорозчинного фосфору показала, що при безполицевому обробітку мінімальний та максимальний вміст водорозчинних фосфатів був вищим, ніж при оранці, а величина сезонної амплітуди при оранці виявилася більш широкою — 0,74 мг/л проти 0,57 мг/л. Середньосезонний вміст водорозчинного фосфору виявився вищим на 0,26 мг/л при безполицевому обробітку.

Підсилена біогенна акумуляція поживних речовин і локальне підкислення верхньої третини гумусного горизонту є явищем корисним, яке слід стимулювати мінімальним обробітком, а не знижувати систематичною оранкою або періодичним переорюванням у сівозміні. В умовах безполицевого обробітку частка аміачної форми азоту в сумі NH_4+NO_3 зростає порівняно з оранкою. Між інтенсивністю нітрифікації та вмістом доступних і рухомих фосфатів виявлено обернений зв'язок. Вміст рухомих форм фосфору в ґрунті прямо пов'язаний з активністю фосфат мобілізуючої мікрофлори, активність якої максимальна в інтервалі значень $\text{pH}_{\text{сл.}} = 6,7-6,8$, тоді як оптимум розвитку нітрифікуючої мікрофлори в ґрунті відбувається при $\text{pH}_{\text{сл.}} > 7,0$. В умовах безполицевого обробітку стабілізується порушена оранкою рівновага фосфатного режиму чорноземів за рахунок посилення біогенності верхньої третини гумусного горизонту та збільшенням кількості фосфатів, які залучаються в процесі обміну з органічними

речовинами ґрунту, зокрема поглинання мікробіологічними тілами з поступовою їх мінералізацією і подальшим залученням до органічної речовини гумусу. При безполицевому обробітку чорнозему органо-мінеральна система удобрення окремо як з гноєм, так і з соломою, підвищує вміст органофосфатів у гумусі на 106–115 %, а співвідношення $C_{\text{орг.}}$ до $P_{\text{орг.}}$ у верхній третині гумусного горизонту зужується, що є ознакою посилення гумусонакопичення та біогенності ґрунтових умов, що прямо пов'язано з відновленням природного ґрунтоутворення чорноземів типових в агроценозах.

6.3. Агрономічно цінна структура і поживний режим чорнозему

6.3.1. Амонійний та нітратний азот. Систематичне виконання ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на безполицевих обробітках, в умовах Лівобережного Лісостепу покращує агрофізичні властивості чорноземів типових і, як наслідок, оптимізує поживний режим. У цьому відношенні заслуговує особливої уваги систематичне виконання безполицевого обробітку на 5–12 см, який в умовах органо-мінеральної системи удобрення і додатного балансу поживних речовин забезпечує розширене відтворення родючості [128, 130, 452]. Серед детермінуючих факторів у покращенні структурного складу — детрит, який акумулює на своїй поверхні власне гумусові речовини і виконує роль “арматурного” матеріалу при утворенні структурних макроагрегатів. На думку Т.М. Лактіонової [235, 236] детрит впливає на вміст водостійких агрегатів розміром >1 мм.

Систематичне застосування безполицевого обробітку впливає на вміст детриту у шарі 0–30 см: його накопичується у 1,3–1,4 раза більше, ніж в умовах систематичної довгострокової оранки навіть при достатньому (15 т/га с. з. площі) внесенні гною. З іншого боку, рівень оструктуреності залежить від кількості новоутвореного гумусу, якого в умовах безполицевого обробітку утворюється у 1,2–1,4 раза більше, ніж при оранці. У зв'язку з підвищенням вмісту новоутворених гумусових речовин, які адсорбуються на поверхні детриту, підсилюється процес залучення гумусових речовин в агрегування на рівні макроагрегатів, що стабілізує співвідношення між текстурно-фрагментарною побудовою ґрунту та стабільною структурністю із значною часткою міжагрегатного стабільного структурного порового простору, яке не зникає при максимальному набряканні—зсіданні

грунту і сприяє збільшенню об'єму стабільного порового простору життєвих ресурсів ґрунтової біоти.

Враховуючи той факт, що 3/4 від загальної кількості поживних речовин рослини поглинають з 0–15 см шару ґрунту, в якому формуються аеробні умови, вважаємо концентрацію поживних елементів у верхній частині гумусного горизонту чорнозему явищем корисним. Забезпеченість різними формами азоту структурних окремостей чорнозему типового при виконанні різних систем обробітку у фазу активного росту коренів буряку цукрового була різною (рис. 6.4).

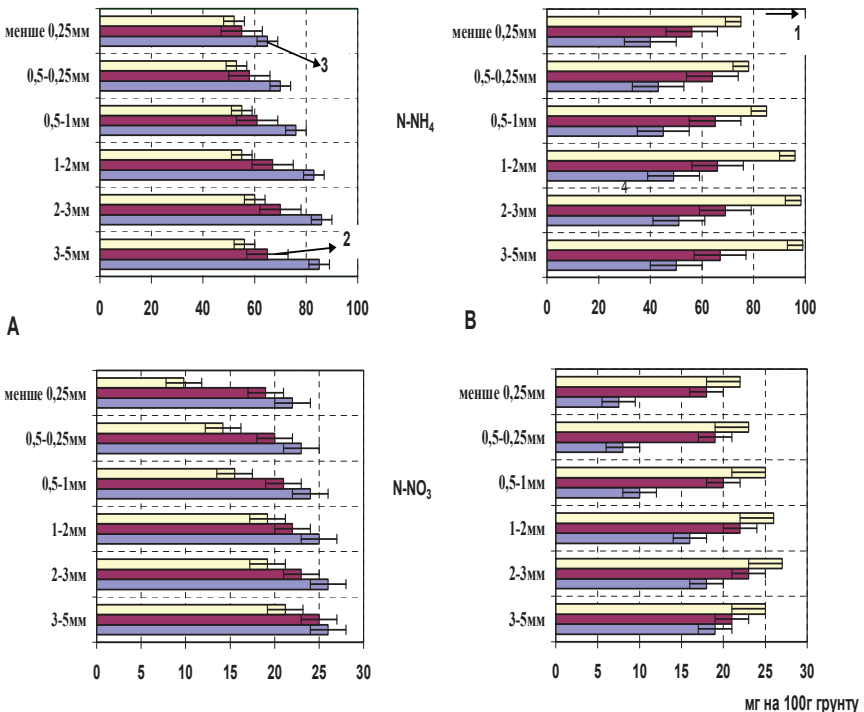


Рис. 6.4. Вплив 8-річного застосування різних способів обробітку чорнозему типового на вміст нітратного та амонійного азоту в структурних окремостях різного розміру: А — оранка на 22–32 см; В — безполіцевий обробіток на 5–12 см. Шари ґрунту: 0–10 см (1); 10–20 см (2); 20–30 см (3)

При оранці вміст амонійного і нітратного азоту підвищується з глибиною, тоді як при безполицевому обробітку закономірність зворотна — вміст нітратних і амонійних форм азоту вищий у поверхневих шарах гумусового горизонту. Найвищою забезпеченість амонійними і нітратними формами мінерального азоту була в структурних окреmostях 2–5 мм, а співвідношення між формами азоту було вищим при безполицевому обробітку: у шарі ґрунту 0–10 см воно становило 3,7–4 до 1, проти 2,4–2,5 до 1 при оранці на користь амонійного азоту. Аналогічну закономірність було виявлено у шарі ґрунту 10–20 см, а у шарі ґрунту 20–30 см співвідношення між формами азоту при оранці було вищим, ніж при безполицевому обробітку: 3,2–5,1 до 1 проти 2,6–3 до 1 на користь аміачного азоту. Середньозважена забезпеченість фракцій структурних окреmostей аміачним азотом при безполицевому обробітку була вищою у 1,6 раза (шар 0–10 см) та у 1,7 раза нижчою у шарі ґрунту 20–30 см.

Загалом у шарі ґрунту 0–30 см вміст амонійного азоту був у межах 64,9–66,9 мг на 1000 г ґрунту незалежно від системи обробітку. Вміст нітратного азоту у шарі 0–10 см був вищим у 1,22 раза при безполицевому обробітку, а у шарі ґрунту 20–30 см, навпаки, — при оранці його вміст був вищим у 2,1 раза. У шарі ґрунту 0–30 см співвідношення амонійної форми азоту до нітратної при оранці становило 2,9 до 1 проти 3,7 до 1 при безполицевому обробітку на користь амонійного азоту. При зменшенні розміру агрегатів вміст амонійної форми азоту знижується у 1,3–1,4 раза (при порівнянні вмісту в агрегатах 2–3 і <0,25 мм при оранці у шарі ґрунту 20–30 см та у шарі 0–10 см при безполицевому обробітку).

6.3.2. Рухомий фосфор і обмінний калій. У шарі ґрунту 0–10 см при безполицевому обробітку забезпеченість рухомим фосфором була вищою, ніж при оранці: 80 мг/1000 г ґрунту проти 60 мг/1000 г при оранці. У шарі ґрунту 10–20 см закономірність забезпечення рухомими фосфатами дещо змінюється: за безполицевого обробітку при зменшенні розміру структурних окреmostей забезпеченість рухомими фосфатами змінюється від 35 мг до 45 мг/1000 г ґрунту. Зростання вмісту водостійких агрегатів при безполицевому обробітку пов'язана з підвищенням вмісту рухомих фосфатів. Структурні окреmostі розміром 5–10 мм за оранки мають вищу, порівняно з безполицевим обробітком, забезпеченість рухомими фосфатами. У шарі ґрунту 20–30 см забезпеченість рухомими фосфатами при безполицевому обробітку була

вищою, ніж за оранки, як в інтервалі великих за розміром (3–10 мм), так і мілких за розміром агрегатів (<2 мм). В агрегатах розміром 2–3 мм вміст фосфатів при оранці був вищим порівняно з безполицевим обробітком.

Уміст водорозчинних форм фосфору по структурних окремостях різного розміру в умовах досліджуваних систем обробітку був різним. Весною у шарі ґрунту 0–20 см при безполицевому обробітку вміст водорозчинного фосфору був істотно вищим порівняно з варіантом оранки. Він змінювався у межах 60–85 мг на 1000 г ґрунту, тоді як при оранці у межах 10–20 мг на 1000 г ґрунту. Визначення вмісту водорозчинного фосфору в осінній період свідчить про те, що при безполицевому обробітку відбувається процес їх активного використання незалежно від розміру структурних окремоностей у ґрунті. Особливо активно фосфати використовуються з фракцій 3–7 мм і 0,25–2 мм: забезпеченість водорозчинним фосфором знижувалася до 35–40 мг на 1000 г ґрунту.

В умовах систематичної оранки забезпеченість водорозчинним фосфором у шарі ґрунту 0–20 см має іншу динаміку: його кількість в осінній період була вищою, ніж весною, але не перевищувала позначку 40 мг на 1000 г ґрунту. У більш глибоких шарах ґрунту (20–30 см) водорозчинний фосфор найбільш активно поглинається з ґрунту рослинами при оранці з агрегатів розміром 1–7 мм, а при безполицевому обробітку з водостійких агрегатів розміром 3–10 мм, а в агрегатах розміром <3 мм вміст водорозчинного фосфору залишається сталим у часі.

Вміст обмінного калію по фракціях агрегатів у 0–30 см шарі чорнозему залежав від системи обробітку. У шарі ґрунту 0–10 см достовірно вищою забезпеченість обмінними формами калію була в окремостях розміром >1 мм, а підвищення вмісту обмінного калію (від 120 до 140 мг/1000 г ґрунту) пов'язано із зменшенням розміру структурних агрегатів. З глибиною (шари ґрунту 10–20 см і 20–30 см) забезпеченість доступним калієм знижується незалежно від способу обробітку ґрунту, але залишається вищою при виконанні безполицевого обробітку. Найвища забезпеченість обмінною формою калію припадає на агрегати розміром 1–5 мм.

Середньозважена забезпеченість елементами живлення (СЖЗ) структурних окремоностей різного розміру свідчить про те, що в умовах систематичного безполицевого обробітку складаються кращі умови

для живлення: так СЖЗ рухомим фосфором і калієм у шарі 0–10 см була вищою у 1,3–1,4 раза, а з глибиною вона зменшувалася, але залишалася вищою, ніж при оранці. Забезпеченість водорозчинними формами фосфору у весняний період була значно вищою, ніж при оранці, в умовах якої відбувається блокування водорозчинних фосфатів у шарі 0–20 см. У табл. 6.4 представлено розрахунки співвідношення елементів живлення у структурних окремоствах 2–5 мм.

Одержані результати дають змогу зробити висновок, що у фазу активного росту сільськогосподарської культури безполицевий обробіток збільшує фосфорно-калійне живлення на одиницю азотного, що позитивно впливає на ростові процеси та підвищення якості продукції. Висока рухомість фосфатів при безполицевому обробітку чорнозему типового визначається накопиченням у ґрунті більшої кількості CO_2 та частковою заміною увібраного кальцію воднем.

При підкисленні ґрунтового розчину в чорноземах збільшується доступність фосфору для рослин. У період інтенсивного росту сільськогосподарських культур рівень кислотності у ґрунті при безполицевому обробітку знижується до $\text{pH}=6,4\text{--}6,5\pm 0,02$ і має сезонну спрямованість, в той час як при оранці даний показник утримується на позначці $\text{pH}=7,0\pm 0,02$.

Особливе значення при цьому має внесення органічних добрив, які розкладаючись у поверхневих шарах чорнозему при безполицевому обробітку дають енергетичний матеріал для мікроорганізмів, які підвищують загальну біологічну активність верхньої частини

Таблиця 6.4. Вплив системи обробітку на співвідношення елементів живлення у структурних окремоствах розміром 2–5 мм при вирощуванні буряку цукрового

Система обробітку	Шар ґрунту, см	$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	P_2O_5	K_2O	Співвідношення		
					N	P	K
Оранка	0–10	80	75	85	1	0,95	1,06
	10–20	85	75	70	1	0,88	0,82
	20–30	110	80	45	1	0,75	0,41
Мінімальний обробіток	0–10	125	150	130	1	1,20	1,04
	10–20	90	130	100	1	1,45	1,10
	20–30	75	120	75	1	1,60	1,00

гумусного горизонту, за рахунок чого виділяється у ґрунт додаткова кількість CO_2 , яка впливає на розчинення та переведення фосфатів у доступні ґрунтові форми [65, 303]. В умовах систематичного безполіцевого обробітку об'єм та конфігурація порового простору визначається вмістом структурних окремостей та водостійких агрегатів розміром 2–5 та 0,5–3 мм, а ґрунтова волога, яка його заповнює, не створює надлишкового анаеробіозису у ґрунті, що сприяє зниженню ОВП на 40–50 мВ за рахунок утримання порогової концентрації CO_2 (1,22–1,25 %) для депресивних явищ в окисно-відновних процесах у ґрунті на стабільному рівні у часі, що попереджує інтенсивність нітрифікації, оптимізує мінеральне живлення та стримує окислення органічної речовини чорнозему.

6.4. Азотний режим чорнозему типового малогумусного залежно від способу обробітку та удобрення

Науково-теоретичне обґрунтування зміни азотного стану чорнозему типового малогумусного при довгостроковому (більше 35 років) застосуванні різних способів обробітку ґрунту, в умовах лівобережної частини Центрального Лісостепу України дасть змогу оптимізувати ефективність застосування технологій обробітку ґрунту, в основі яких лежить безполіцевий обробіток. Виконання оранки та безполіцевого обробітку вплинуло на вміст сполук азоту, що легко гідролізуються, в метровій товщі чорнозему: середній вміст азоту становив 80–85 мг/100 г ґрунту, а типізовані значення змінювалися в межах 55–119 мг/100 г ґрунту. При поверхневому обробітку середній вміст сполук азоту був нижчим у 1,19–1,28 раза, а за мінімальними та максимальними типовими значеннями меншим у 1,4 раза. Найвищим вміст сполук азоту, що гідролізуються був при утриманні перелугу (табл. 6.5).

Дослідженнями виявлено, що середній вміст аміачного азоту в метровій товщі чорнозему був вищим при оранці та безполіцевому обробітку порівняно з вмістом аміачного азоту при поверхневому обробітку у 1,35 раза. За типовими значеннями найкращі показники вмісту аміачного азоту були при безполіцевому обробітку, що наближає вміст аміачного азоту до вмісту при утриманні перелугу. Середній вміст нітратного азоту в метровій товщі чорнозему найвищим виявився при систематичному виконанні оранки по відношенню до безполіцевого. Аналогічна закономірність зберігається за типовими

Таблиця 6.5. Статистична оцінка метрової товщі чорнозему типового за вмістом сполук азоту при різних способах обробітку та утримання чорнозему типового малогумусного легкосуглинистого

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє значення, мг/100г	Похибка, мг/100 г		Типові значення		Коефіцієнт асиметрії, Ка	Ексцес
		-0,95	+0,95	min	max		
За вмістом сполук азоту, що легко гідролізуються							
Оранка	80,0	12,0	14,0	56,0	110	0,66	-1,28
Безполицевий	85,0	12,0	14,0	55,0	119	0,62	-1,20
Поверхневий	67,0	10,0	12,0	40,0	85,0	0,92	-0,29
Переліг	95,0	11,0	13,0	65,0	120	0,73	-0,83
За вмістом аміачного азоту							
Оранка	5,53	0,22	0,39	3,81	6,80	1,06	0,75
Безполицевий	5,59	0,24	0,35	4,75	7,06	1,81	4,91
Поверхневий	4,25	0,13	0,22	3,10	6,75	0,67	-0,29
Переліг	6.85	0,33	0,52	6,21	7,60	1,71	3,50
За вмістом нітратного азоту							
Оранка	7,76	0,44	0,78	4,50	9,35	0,72	0,10
Безполицевий	4,02	0,11	0,22	3,10	3,70	2,70	7,90
Поверхневий	4,03	0,11	0,26	2,70	3,50	1,59	2,32
Переліг	4,08	0,12	0,24	2,55	3,30	1,74	1,62

значеннями вмісту нітратного азоту в метровій товщі чорнозему. За вмістом нітратної форми азоту відбувається моделювання природного процесу їх накопичення при безполицевому та поверхневому обробітках (рис. 6.5–6.7). Система обробітку ґрунту істотно впливає на перерозподіл мінеральних форм азоту в метровій товщі чорнозему із-за їхньої підвищеної рухомості. При оранці в осінній період формується два максимуми вмісту мінеральних форм азоту: в шарі ґрунту 0–30 см та 30–50 см.

Весною вміст мінерального азоту в 0–30 см шарі ґрунту істотно знижується, а в товщі ґрунту 30–110 см різко зростає, що свідчить про його вимивання на значну глибину 130–150 см.

При безполицевому обробітку в осінній період мінеральна форма азоту частково вимивається з шару 0–30 см в товщу 30–70 см. В ниж-

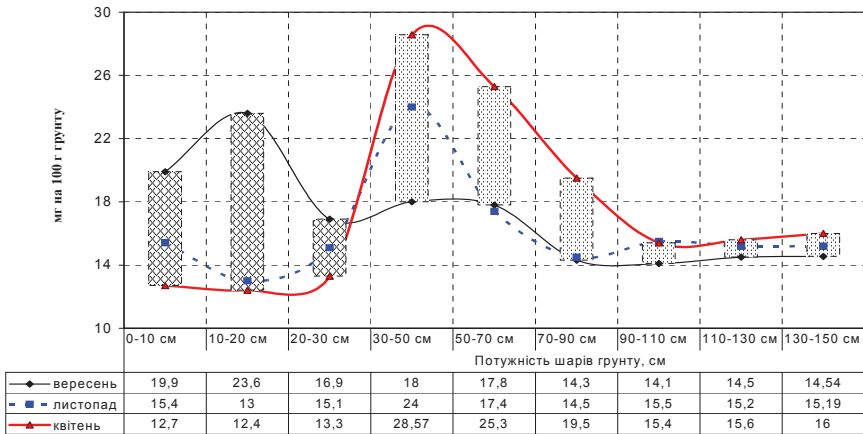


Рис. 6.5. Динаміка мінерального азоту в профілі чорнозему типового під впливом систематичного застосування оранки в сівозміні

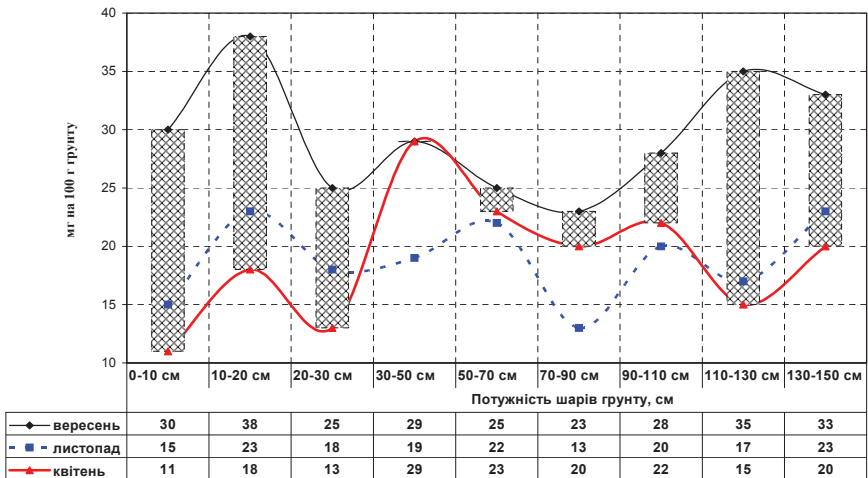


Рис. 6.6. Динаміка мінерального азоту в профілі чорнозему типового під впливом систематичного застосування глибокого безполицевого обробітку ґрунту в сівозміні

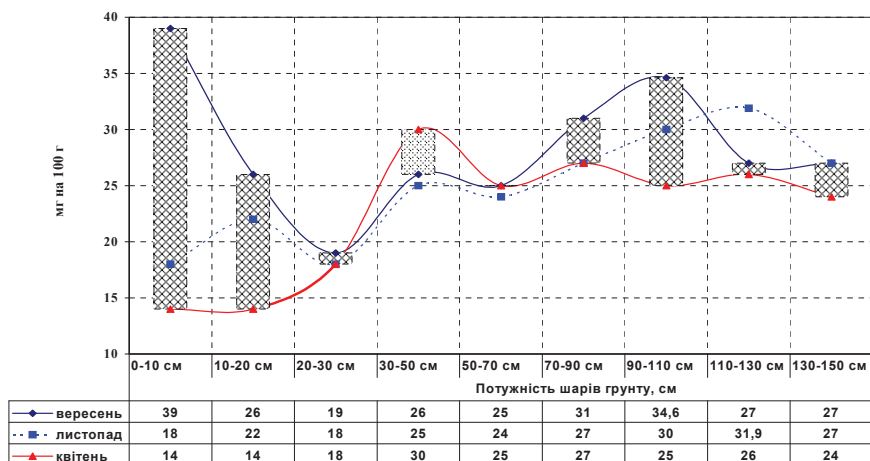


Рис. 6.7. Динаміка мінерального азоту в профілі чорнозему типового під впливом систематичного застосування поверхневого обробітку в сівозміні

ній частині метрової товщі накопичується підвищена кількість азоту (рис. 6.5–6.7). У весняний період вміст мінерального азоту в 0–30 см шарі знижується. В шарі 30–50 см зростає, а з глибини 130–150 см поступово знижується.

При поверхневому обробітку в осінній період мінеральна форма азоту у найбільшій кількості накопичується в 0–20 см шарі ґрунту, а незначне вимивання спостерігається весною в більш глибокі шари ґрунту порівняно з глибокими обробітками (рис. 6.7).

Виявлено (див. табл. 6.6, 6.7), що незалежно від способу обробітку між вмістом гумусу та сполуками азоту, що легко гідролізуються, існує прямий кореляційний зв'язок ($R = 0,93 - 0,96 \pm 0,02$). Між вмістом сполук азоту, що легко гідролізуються та вмістом CaCO_3 у метровій товщі виявлено обернений кореляційний зв'язок. При оранці зв'язок між зазначеними показниками за рівнем коефіцієнта детермінації (R^2) становить 62%, при безпліцевому обробітку — 77%; при поверхневому обробітку — 84%, а при утриманні перелогу — 94%.

Реакція ґрунтового середовища визначає вміст сполук азоту, що легко гідролізуються, в метровій товщі на рівні сильної оберненої ко-

АГРОГЕНЕЗ ЧОРНОЗЕМУ

Таблиця 6.6. Залежність азотного стану з параметрами родючості метрової товщі чорнозему типового за різних способів обробітку та утримання

Щільність будови, г/см³	Гумус, %	Форми азоту:			pH _{сл}	CaCO ₃ , %
		що легко гідролізується	аміачний	нітратний		
		мг на 100 г ґрунту				
Оранка на 22–25 см						
1,00	–0,23	–0,38	–0,62	–0,04	0,36	0,24
	1,00	0,96	0,82	0,88	–0,92	–0,86
		1,00	0,83	0,84	–0,99	–0,79
			1,00	0,53	–0,77	–0,71
				1,00	–0,83	–0,81
				1,00	0,75	
					1,00	1,00
Безполіцевий обробіток на 22–25 см						
1,00	0,09	0,14	0,15	0,08	–0,21	0,10
	1,00	0,96	0,33	0,62	–0,94	–0,94
		1,00	0,51	0,71	–0,97	–0,88
			1,00	0,87	–0,36	–0,19
				1,00	–0,55	–0,49
				1,00	0,88	
					1,00	1,00
Поверхневий обробіток на 8–12 см						
1,00	0,36	0,49	0,22	0,53	–0,53	–0,54
	1,00	0,93	0,28	0,85	–0,92	–0,98
		1,00	0,58	0,97	–0,99	–0,92
			1,00	0,63	–0,52	–0,25
				1,00	–0,58	–0,54
				1,00	0,92	
					1,00	1,00
Переліг 35 років						
1,00	0,47	0,63	0,85	–0,13	–0,48	0,25
	1,00	0,93	0,61	–0,66	–0,94	–0,97
		1,00	0,81	–0,46	–0,97	–0,86
			1,00	–0,12	–0,71	–0,53
				1,00	–0,48	0,72
				1,00	0,88	
					1,00	1,00

Таблиця 6.7. Матриця кореляційних залежностей між параметрами родючості метрової товщі чорнозему типового за різних способів обробітку ґрунту

Щільність будови, г/см³	Гумус, %	Форми азоту:			Рухомий фосфор	Обмінний калій	pH _c	Гідролітична кислотність, мг-екв./100 г
		Легко гідролізований	мінеральна					
			аміачний	нітратний				
Оранка на 22–25 см								
1,00	–0,23	–0,38	–0,62	–0,04	–0,50	–0,71	0,36	–0,06
	1,00	0,96	0,82	0,88	0,79	0,71	–0,92	0,95
		1,00	0,83	0,84	0,93	0,87	–0,99	0,93
			1,00	0,53	0,69	0,78	–0,77	0,63
				1,00	0,73	0,56	–0,83	0,95
				1,00	0,95	–0,96	0,81	
					1,00	–0,89	0,75	
						1,00	–0,92	
							1,00	
Безполіцевий обробіток на 22–25 см								
1,00	0,09	0,14	0,15	0,08	0,35	0,10	–0,21	0,16
	1,00	0,96	0,33	0,62	0,76	0,56	–0,94	0,96
		1,00	0,51	0,71	0,86	0,65	–0,97	0,94
			1,00	0,87	0,78	0,88	–0,36	0,23
				1,00	0,92	0,99	–0,55	0,46
				1,00	0,90	–0,76	0,68	
					1,00	–0,78	0,75	
						1,00	–0,98	
							1,00	
Поверхневий обробіток на 8–12 см								
1,00	0,36	0,49	0,22	0,53	0,47	0,47	–0,53	0,50
	1,00	0,93	0,28	0,85	0,61	0,65	–0,92	0,78
		1,00	0,58	0,97	0,73	0,83	–0,99	0,94
			1,00	0,63	0,55	0,75	–0,52	0,72
				1,00	0,66	0,92	–0,98	0,99
				1,00	0,47	–0,67	0,67	
					1,00	–0,85	0,85	
						1,00	–0,95	
							1,00	

реляції, а за коефіцієнтом детермінації на 94–97 %. Залежність реакції ґрунтового середовища та вмісту амонійного азоту характеризується оберненою кореляційною залежністю. При оранці високим рівнем ($R > -0,70 \pm 0,02$, $R^2 = 0,49$); при безполицевому та поверхневому обробітках — середнім рівнем кореляції ($R > -0,35 \pm 0,02$, $R^2 = 0,13 - 0,27$).

При утриманні перелугу залежність була подібною до оранки. Між вмістом нітратної форми азоту та реакцією ґрунтового середовища також виявлено обернений кореляційний зв'язок: при оранці на рівні сильної кореляції ($R = 0,85 \pm 0,02$, $R^2 = 0,52$), при безполицевому та поверхневому обробітках на рівні середньої кореляції ($R > -0,55 - 0,58 \pm 0,02$, $R^2 = 0,30$), а при утриманні перелугу реакція ґрунтового середовища визначала вміст нітратного азоту на 23 %.

При безполицевому обробітку знижується залежність між вмістом карбонатів у профілі чорнозему та вмістом амонійного і нітратного азоту до рівня слабкої та середньої оберненої кореляції ($R > -0,19 - 0,49 \pm 0,02$, $R^2 = 0,3 - 0,24$). Аналогічна закономірність була при поверхневому обробітку, тоді як при оранці між вмістом карбонатів та формами азоту залежність на рівні сильної кореляції ($R > -0,70 \pm 0,02$, $R^2 > 0,49$). Вміст CaCO_3 у ґрунтовому профілі визначав щільність будови метрової товщі чорнозему на рівні середньої кореляції ($R > -0,55 \pm 0,02$, $R^2 = 0,30$) лише при поверхневому обробітку, тоді як на інших варіантах дослідів вона була на рівні слабкої кореляції.

Таким чином, способом обробітку ґрунту при внесенні мінеральних добрив можна регулювати вміст мінерального азоту в метровій товщі чорнозему. При цьому оранка підсилює процес нітрифікації в ґрунті і міграцію азоту в більш глибокі шари ґрунту, що призводить до втрати азоту на непродуктивне використання за рахунок вимивання.

Безполицевий і поверхневий обробітки стабілізують процеси нітрифікації як в осінній, так і весняний періоди. Відбувається більш ефективне закріплення мінерального азоту в поверхневих шарах ґрунту, що робить його більш доступним для рослин і підвищує ефективність використання.

Підсилена біогенна акумуляція поживних речовин і локальне підкислення верхньої третини гумусного горизонту є явищем корисним, яке слід стимулювати безполицевим обробітком, а не знищувати систематичною оранкою або періодичним переорюванням у сівозміні. В умовах безполицевого обробітку частка аміачної форми азоту

в сумі $\text{NH}_4 + \text{NO}_3$ зростає порівняно з оранкою. Оптимум розвитку нітрифікуючої мікрофлори в ґрунті відбувається при $\text{pH} > 7,0$ та звужується, що є ознакою посилення гумусонакопичення і біогенності ґрунтових умов.

6.5. Вміст рухомих фосфатів, обмінного калію та фізико-хімічні умови активізації їхньої рухомості та доступності

Оцінка вмісту рухомого фосфору в метровій товщі чорнозему типового малоґумусного залежно від способу обробітку й утримання показала, що найвищим вміст рухомого фосфору як за середнім значенням, так і за розмахом типових значень був за глибокого безполицевого обробітку. При оранці вміст рухомих фосфатів був нижчим у 1,5 раза (за середнім значенням), а за типовим значенням — в 1,08–1,25 раза.

При довгостроковому поверхневому обробітку вміст рухомих фосфатів знижувався в 1,6 раза за середнім значенням та в 1,25–1,4 раза за типовими мінімальними і максимальними значеннями. Аналогічна закономірність була при довгостроковому утриманні перелогу. Коефіцієнт асиметрії вмісту рухомого фосфору у метровій товщі незалежно від способу обробітку й утримання чорнозему має додатне значення. Найбільше відхилення від центру розподілу рухомого фосфору виявлено при поверхневому обробітку ($K_a=2,62$) при значенні ексцесу $E=6,98$ (табл. 6.8). Оцінка вмісту обмінного калію у метровій товщі чорнозему залежно від способів обробітку і утримання показала, що при безполицевому обробітку вміст обмінного калію був найвищим як за середнім значенням, так і по максимальних типових значеннях.

При оранці середній вміст обмінного калію мав тенденцію до зниження як по середньому, так і максимальному типовому значенню. За умов довгострокового поверхневого обробітку середній вміст обмінного калію був нижчим відносно оранки та безполицевого обробітку в 1,32–1,42 раза. За типовими значеннями вмісту обмінного калію відбулося зниження вмісту як по мініальному, так і максимальному значеннях в 1,13 і 1,35–1,45 раза відповідно.

Коефіцієнт асиметрії незалежно від способу обробітку чорнозему мав додатне значення ($K_a=2,06$ – $2,69$) при високих значеннях ексцесу ($E=4,05$ – $8,78$), що свідчить про зростання вмісту обмінного калію у верхній частині метрової товщі чорнозему (табл. 6.9). Оцінка значень

Таблиця 6.8. Довгостроковий вплив різних способів обробітку та утримання на вміст рухомого фосфору в метровій товщі чорнозему типового малогумусного при внесенні 7 т/га побічної продукції + $N_{62}P_{66}K_{82}$

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє значення, мг/100 г	Похибка, %		Типові значення		Коефіцієнт асиметрії, K_a	Ексцес, Е
		-0,95	+0,95	min	max		
Оранка	35,0	6,32	61,8	8	110	1,39	0,38
Безполицевий	40,0	6,71	42,86	10	119	1,98	3,27
Поверхневий	25,0	1,75	36,8	8	85,0	2,62	6,98
Переліг	13,0	8,32	16,7	9	79,0	1,82	1,33

Таблиця 6.9. Довгостроковий вплив різних способів обробітку та утримання на вміст обмінного калію в метровій товщі чорнозему типового малогумусного при внесенні 7 т/га побічної продукції + $N_{62}P_{66}K_{82}$

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє значення, мг/100 г	Похибка, %		Типові значення		Коефіцієнт асиметрії, K_a	Ексцес, Е
		-0,95	+0,95	min	max		
Оранка	125	74,5	176	85	135	2,06	4,05
Безполицевий	135	72,9	135	85	145	2,91	8,78
Поверхневий	95,0	66,0	116	75	100	2,69	7,65
Переліг	110	77,3	138	87	120	1,32	2,35

обмінної кислотності в метровій товщі чорнозему за довгострокового виконання різних способів обробітку показала, що при поверхневому обробітку середнє значення обмінної кислотності мало слаболужну реакцію ($pH_{сл}=7,38$), тоді як при оранці та безполицевому обробітку обмінна кислотність була близька до нейтральних значень.

За типовими значеннями найвище значення обмінної кислотності було при поверхневому обробітку ($pH_c=6,88-7,71$), тоді як при оранці і безполицевому обробітку типові мінімальні значення досягали $pH_c=5,82-5,99$.

Коефіцієнт асиметрії незалежно від способу обробітку мав від'ємне значення, а ексцес при оранці і безполицевому обробітку мав від'ємне значення ($E=-1,10-1,51$), тоді як при поверхневому обробітку ексцес мав додатне значення, що свідчить про підкислення

Таблиця 6.10. Довгостроковий вплив різних способів обробітку та утримання на величину обмінної кислотності в метровій товщі чорнозему типового малогумусного при внесенні 7 т/га побічної продукції + $N_{62}P_{66}K_{82}$

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє значення, рН _c	Похибка, %		Типові значення		Коефіцієнт асиметрії, Ka	Ексцес, Е
		-0,95	+0,95	min	max		
Оранка	6,85	6,65	7,41	5,99	7,43	-0,83	-1,10
Безполицевий	6,65	6,15	7,27	5,82	7,35	-0,61	-1,51
Поверхневий	7,38	7,16	7,61	6,88	7,71	-0,98	0,35
Переліг	6,67	6,16	7,27	5,86	7,23	-0,43	1,33

верхньої частини метрової товщі чорнозему при оранці та безполицевому обробітку та нейтралізації обмінної кислотності в метровій товщі при поверхневому обробітку (табл. 6.10). Виявлена обставина впливає на вміст обмінного калію і рухомого фосфору в метровій товщі, що було показано вище (табл. 6.8–6.10).

Аналогічна закономірність виявлена при статистичній оцінці метрової товщі чорнозему за значеннями гідролітичної кислотності. Найнижчим її значення було при поверхневому обробітку чорнозему, тоді як при оранці та безполицевому обробітку значення гідролітичної кислотності зростало в 1,9–2 рази. За типовими мінімальними значеннями гідролітичної кислотності різниці не виявлено, тоді як за максимальними значеннями при оранці та безполицевому обробітку гідролітична кислотність зростала в 2,2–3,6 рази (табл. 6.11).

Коефіцієнт асиметрії й ексцес засвідчують про те, що у верхній частині метрової товщі чорнозему при оранці та безполицевому обробітку створюються умови для вивільнення елементів живлення та підвищення їхньої доступності для сільськогосподарських культур.

Виявлені закономірності підтверджуються розрахунками кореляційних залежностей між умістом рухомих фосфатів обмінного калію та фізико-хімічними показниками метрової товщі чорнозему за різних способів обробітку. При оранці між обмінною кислотністю та вмістом рухомого фосфору й обмінного калію виявлено сильний обернений кореляційний зв'язок, тоді як при поверхневому обробітку рівень зв'язку знижується, а коефіцієнт детермінації при цьому становить $R^2=0,58-0,61$ проти $R^2=0,79-0,92$ при оранці. При утриманні перелугу виявлено аналогічну закономірність.

Таблиця 6.11. Довгостроковий вплив різних способів обробітку та утримання на величину гідролітичної кислотності в метровій товщі чорнозему типового малогумусного при внесенні 6 т/га побічної продукції + $N_{62}P_{66}K_{82}$ (2001-2011 рр.)

Спосіб обробітку ґрунту	Середнє значення, мг-екв./100 г	Похибка, %		Типові значення		Коефіцієнт асиметрії, K_a	Ексцес, Е
		-0,95	+0,95	min	max		
Оранка	1,25	0,44	1,35	0,34	1,35	0,67	-1,39
Безполицевий	1,31	0,61	2,00	0,44	2,21	0,37	-1,93
Поверхневий	0,65	0,27	0,93	0,32	0,62	1,96	-1,33
Переліг	1,02	0,43	1,62	0,36	2,01	0,84	-1,33

Дослідженнями встановлено, що між вмістом гумусу у метровій товщі чорнозему і вмістом рухомих фосфатів виявлено пряму кореляцію незалежно від способів обробітку і утримання. При систематичній оранці коефіцієнт кореляції становить $R=0,79\pm0,03$, а коефіцієнт детермінації $R^2=0,62$, що на 62 % визначає зв'язок між цими параметрами. Виконання безполицевого обробітку забезпечує зв'язок між вмістом гумусу і рухомих фосфором на рівні прямої сильної кореляції як і при оранці, а довгострокове виконання поверхневого обробітку знижує зв'язок між зазначеними параметрами до середнього рівня кореляції. Порівняння й аналіз рівняння регресії залежності вмісту гумусу і рухомих фосфатами в метровій товщі чорнозему показує, що на одиницю збільшення або зменшення кількості гумусу відбувається неоднакова зміна вмісту рухомих фосфатів при різних системах обробітку або утримання чорнозему.

Виявлено, що при оранці, безполицевому та поверхневому обробітках відбувається зменшення коефіцієнта регресії при змінній X ($pH_{сл}$). Відносно оранки значення коефіцієнта регресії при безполицевому обробітку знизилось у 1,64 раза, а при безполицевому обробітку — в 1,74 раза. При утриманні перелогу значення коефіцієнта регресії зменшилося в 9 разів. Вміст обмінного калію підпорядковується аналітичній закономірності.

Дослідженнями встановлено, що на рухомість і доступність фосфору при різних способах обробітку впливає перерозподіл карбонатів у метровій товщі. При оранці лінія скипання карбонатів знаходиться на глибині 55–60 см, тому в обіг залучається товща ґрунту, яка відпо-

відає гумусованому горизонту для чорноземів типових малогумусних. У цій товщі вміст карбонатів становить 0,01–0,42 %. При безполицевому обробітку лінія скипання карбонатів знаходиться на глибині 50–55 см, а в гумусованому горизонті вміст карбонатів 0,04–0,75 %. За поверхневого обробітку лінія скипання карбонатів піднімається до поверхні ґрунту (15–20 см), а вміст CaCO_3 в гумусованому горизонті зростає до 0,25–1,61 %. При цьому обмінна кислотність наближається до слаболужної реакції, що консервує рухомість доступних фосфатів при їх високому загальному вмісті в метровій товщі. Встановлений вміст CaCO_3 в метровій товщі чорнозему є консервуючим чинником по відношенню до складових ефективної родючості чорноземів типових малогумусних.

Підсилена біогенна акумуляція поживних речовин і локальне підкислення верхньої третини гумусного горизонту є явищем корисним, яке слід стимулювати безполицевими обробітками, а не знищувати систематичною оранкою. Вміст рухомих форм фосфору в ґрунті прямо пов'язаний з активністю фосфат мобілізуючої мікрофлори, активність якої максимальна в інтервалі значень $\text{pH}=6,7\text{--}6,8$, тоді як оптимум розвитку нітрифікуючої мікрофлори в ґрунті відбувається при $\text{pH} > 7,0$. На початку вегетації рослин як при оранці, так і за ґрунтозахисного обробітку, ОВП має високе значення. У фазу формування репродуктивних органів культур сівозміни за ґрунтозахисного обробітку ОВП помітно знижується (на 45–60 мВ), а при оранці підвищується від весни до осені, що суттєво впливає на біохімічні процеси у ґрунті, які пов'язані з окисленням органічної речовини.

При безполицевому і поверхневому обробітках відбувається збагачення рухомими фосфатами і обмінним калієм у верхній частині оброблюваного шару ґрунту. Позитивний вплив на рівень забезпеченості мінеральними формами фосфору і калію мають мінеральні добрива та їхня локалізація при внесенні. При оранці — в нижній частині оброблюваного шару, а при безполицевому і поверхневому обробітках — у верхній частині оброблюваного шару ґрунту і проявляється у вигляді диференціації.

ЕФЕКТИВНІСТЬ МІНІМАЛІЗАЦІЇ ОБРОБІТКУ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ

Грунтова зона чорноземів Лівобережного Лісостепу України є зоною найбільш оптимального зволоження ґрунтів непромивного водного режиму, в якій створені ідеальні умови для життєдіяльності степового фітоценозу, включаючи гумусоутворення чорноземного типу. В гумусованих горизонтах автоморфних ґрунтів величина глибини гуміфікації знаходиться в прямому зв'язку з подовженістю періоду біологічної активності (ПБА), який визначається гідродинамічними умовами в ґрунті, а при рівній тривалості ПБА, залежить від прояву ступеня гідроморфності ґрунтових умов [35, 337, 338]. Пізнання закономірності висхідного руху вологи при випаровуванні необхідне для обґрунтування та розробки раціональних систем обробітку ґрунту, спрямованих на скорочення витрат ґрунтової вологи на фізичне випаровування [198]. Такі дослідження допомагають оцінити ґрунтові умови постачання коренів рослин вологою та елементами живлення [83, 138–139, 140, 168, 209, 363]. Процес випаровування ґрунтової вологи, інтенсивність переміщення та концентрація водяного пару в ґрунті визначається рівнем зволоження та структурним станом ґрунту [216, 281, 445]. Грунтова волога відіграє важливу роль у ґрунтоутворенні, оскільки переміщення різних речовин у ґрунтовій товщі відбувається у вигляді розчинів, що в кінцевому формує ґрунтовий профіль [362, 365, 333, 331, 446]. Ще О.О. Ізмаїльський [168], Г.М. Висоцький [83] зробили висновок про виключну роль вологи у стійкому підвищенні продуктивності землеробства в зоні поширення чорноземів. Дослідженнями різних авторів [266, 400, 401, 389, 272, 281] обґрунтовано справедливості цього твердження.

Існує думка [53], що культурне ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу істотно змінено порівняно з природним, а сучасні чорноземи агроєкосистем — це інші ґрунти, ніж ті, що були на їх місці до розорювання. Проте, не існує єдиної точки зору трак-

тування гіпотези окультурювання, як ґрунтоутворювального процесу. При окультуренні відбувається акумуляція речовин і біофільних елементів і, як наслідок, підсилення залишкових ознак природного ґрунтоутворення, а ступінь прояву зазначених процесів залежить від господарської діяльності людини [331, 332].

Освоєння чорноземів типових відбувалося, в основному, в умовах екстенсивного землеробства, у зв'язку з чим, головним прийомом підвищення їхньої продуктивності був і залишається інтенсивний обробіток, який підвищує розпушеність ґрунту та поліпшує його агрофізичні властивості, що відіграє вирішальну роль у мобілізації природної родючості [233]. Як наслідок, чорноземи втратили не тільки шар степової повсті, але й значну частину (30–50 %) загального гумусу [426–428]. Погіршення фізичних властивостей чорнозему прямо пов'язано із утратою гумусу і, як наслідок, аридизацією ґрунтових умов росту польових культур і ґрунтоутворення в агроценозах. [295, 466, 467, 453].

7.1. Режим зволоженості та посилення гідроморфності чорноземів типових в агроценозах різноротаційних сівозмін

7.1.1. Режим зволоженості в 10-пільних сівозмінах. Досліджували вплив різних способів обробітку ґрунту на накопичення та витрати запасів продуктивної вологи у ґрунтовій товщі чорнозему типового за теплий період року в зерно-просапній 10-пільній сівозміні. За перші 5 років ротації культур у сівозміні у метровому шарі накопичувалася однакова кількість продуктивної вологи незалежно від системи обробітку ґрунту, а в товщі 100–180 см при оранці та мінімальному безполицевому обробітку запаси її були вищими на 5–9 % порівняно з глибоким і мілким безполицевим обробітком, що вплинуло на запаси продуктивної вологи у 0–180 см товщі. При оранці вони були вищими на 5–10 % порівняно з безполицевими обробітками на 22–32 та 10–12 см [65].

У табл. 7.1 показано весняні запаси продуктивної вологи у 0–180 см товщі за період досліджень 1989–1992 рр. За оранки запаси продуктивної вологи в 0–100 см товщі залишався на рівні запасів у першу половину ротації культур в сівозміні, а при застосуванні безполицевих обробітків запаси вологи виявилися вищими на 14–16 мм. За рахунок підвищення (на 13–15 мм) вмісту продуктивного запасу вологи в товщі 100–180 см, запас продуктивної вологи при мілкому

Таблиця 7.1. Вплив системи обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на запаси продуктивної вологи за ротацію культур у ланцюгу 10-пільної зерно-просапної сівозміни у квітні в південному Лівобережному Лісостепу України

Система обробітку	Глибина шару ґрунту, см					
	0-100	± до оранки	100-180	± до оранки	0-180	± до оранки
Оранка 22–32 см	158	—	128	—	286	—
Безполицевий 22–32 см	172	+14	121	–7,0	293	+7,0
Безполицевий 10–12 см	174	+16	130	+2,0	304	+18
Безполицевий 5–6 см	167	+9,0	126	–2,0	293	+7,0
НСР _{0,5}	12	—	16	—	15	—

безполицевому обробітку був істотно вищим порівняно з оранкою. При глибокому та мінімальному безполицевому обробітках також було виявлено стійку тенденцію до підвищення запасів продуктивної вологи.

Систематичне застосування безполицевого обробітку в сівозміні істотно впливає на профільний перерозподіл вологи весною: при оранці розподіл запасу продуктивної вологи при мінімальному та середньому значеннях вологозапасів перетинав значення ВРК на глибині 125 см і 165 см, а при безполицевому обробітку на глибині 85 см і 110 см. При надмірному зволоженні крива розподілу запасів продуктивної вологи в товщі 0–100 см у другому випадку більш близька до значень НВ, тоді як в товщі 100–180 см більш висока насиченість вологою була при оранці, а розподіл загального запасу вологи в ґрунті при безполицевому обробітку за максимальним і мінімальним значеннями зволоженості наближається до ВРК. Це свідчить, що при практично рівних запасах вологи в профілі чорнозему (0–180 см) її якісний стан при різних способах обробітку ґрунту був різним: при оранці промочування профілю чорнозему більш глибоке, а величина насиченості вологою досягає значень НВ і визначає більш високу її рухомість, що визначає активізацію вологообігу в ґрунтовій товщі за період вегетації культур в агроценозах.

З товщі 100–180 см за безполицевих обробітків, порівняно з оранкою, витрати запасу продуктивної вологи знизилися на 30–39 мм

або в 1,4–2,1 раза, а з товщі 0–180 см — у 2,6 раза. За безполицевого обробітку більш істотно знижується витрата запасу продуктивної вологи порівняно з першою половиною ротації, а при мілкому безполицевому обробітку витрата вологи знижується в 1,6 раза за рахунок більш інтенсивних витрат із товщі 0–100 см (табл. 7.2).

Інтенсивність витрат продуктивних запасів вологи за квітень–липень істотно впливає на запаси вологи в липні, що важливо у плані забезпеченості продуктивною вологою культур у критичні фази розвитку [6, 326]. За першу половину ротації пошарові запаси продуктивної вологи підвищуються при безполицевих обробітках. Достовірно вищими вони були в шарі 0–180 см при виконанні мілкого на 10–12 см та мінімального безполицевого обробітку на 5–6 см.

У другу половину ротації загальна закономірність формування запасів вологи в липні збереглася, але проявилася на кількісно новому рівні. У метровій товщі при глибокому та мілкому безполицевому обробітку запас продуктивної вологи був вищим на 27–35 мм, а в товщі 100–180 см — на 27–41 мм. У цілому, в ґрунтовій товщі чорнозему типового запаси продуктивної вологи в порівнянні з оранкою були вищими на 33–76 мм (табл. 7.3).

Враховуючи реальні запаси продуктивної вологи в квітні та липні ми розраховували коефіцієнти кореляції між ними. Між запасом продуктивної вологи в метровій товщі чорнозему весною і влітку не виявлено тісної кореляції ($r=+0,35-0,40\pm 0,1$), а в товщі 100–180 см

Таблиця 7.2. Вплив способу обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на витрату запасів продуктивної вологи за квітень–липень у ланцюгу 10-пільної зерно-просапної сівозміни Лівобережного Лісостепу України

Варіант обробітку	Глибина, см					
	0-100	± до оранки	100-180	± до оранки	0-180	± до оранки
Оранка 22–32 см	63	—	42	—	105	—
Безполицевий 22–32 см	50	–13	8	–34	58	–47
Безполицевий 10–12 см	78	+15	3	–39	81	–24
Безполицевий 5–6 см	63	—	12	–30	75	–30
НІР _{0,5}	12	—	16	—	15	—

Таблиця 7.3. Вплив системи обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на запаси продуктивної вологи у липні в ланцюгу 10-пільної зерно-просапної сівозміни Лівобережного Лісостепу України

Варіант	Глибина, см					
	0-100	± до оранки	100-180	± до оранки	0-180	± до оранки
Оранка 22-32 см	95	—	86	—	181	—
Безполицевий 22-32 см	122	+27	113	+27	235	+54
Безполицевий 10-12 см	130	+3,5	127	+41	257	+76
Безполицевий 5-6 см	104	+9,0	114	+28	214	+33
НІР _{0,5}	18	—	20	—	21	—

при безполицевих обробітках зв'язок виявився на рівні оберненої сильної кореляції ($r = -0,75 \pm 0,09$; $t_p > t_T$; $3,9 > 1,50$). Рівняння регресії мало вигляд: $y = -105 + 2,79x - 0,008x^2$. Аналіз рівняння регресії показав, що існує оптимальний запас вологи весною в товщі 100–180 см, коли витрати до липня мінімальні. Цей запас відповідає 135 ± 6 мм.

Дослідження показують, що прямої залежності між запасами вологи метровій товщі в квітні та врожайності культур у сівозміні не існує [185]. Своїми дослідженнями ми підтвердили зроблені висновки — коефіцієнти кореляції незалежно від системи обробітку були на рівні: $r = +0,45 - 0,55 \pm 0,09$. Більш тісний зв'язок виявлено між запасами продуктивної вологи в червні та урожайністю зернобобових культур і в липні для просапних культур. У першому випадку: $R = +0,80 - 0,85 \pm 0,09$, а в другому: $R = +0,75 - 0,85 \pm 0,09$. Для отримання максимальної продуктивності зернобобових культур оптимальний запас продуктивної вологи в метровій товщі повинен бути — 108 ± 8 мм та 125 ± 10 мм у товщі 100–180 см або в сумі 233 мм у товщі 0–180 см. Аналогічні висновки отримані для соняшнику, буряків цукрових та кукурудзи на зерно і силос.

На основі сукупності визначень вологості типізовано [185] та статистично оцінено [68] режим зволоженості ґрунтової товщі чорнозему за період ротації культур у зерно-просапній сівозміні залежно від способу обробітку чорнозему. Незалежно від системи обробітку

весною в товщі 0–100 см накопичувалося 158–166 мм продуктивної вологи, а насиченість вологою становила 87–92 % НПВ. Показник зволоженості (Пз) відповідав оптимальному (Пз>0,9) значенню. У липні в середньому за сівозміну запаси продуктивної вологи в товщі 0–100 см при безполицевих обробітках були практично однаковими порівняно з систематичною оранкою, а Пз при оранці відповідав гостро посушливим умовам (Пз<0,5), тоді як при безполицевому обробітку — посушливим (Пз>0,5). У товщі 100–180 см при застосуванні глибокого та мілкового безполицевого обробітків Пз відповідали рівню, який вони мали навесні, а запас вологи порівняно з оранкою був вищим на 10–15 мм (табл. 7.4).

Таблиця 7.4. Вплив способу обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на максимальні та мінімальні запаси продуктивної вологи в ланцюгу 10-пільної сівозміни Лівобережного Лісостепу України

Глибина, см	Квітень			Липень		
	мм	% НВ	*Пз	мм	% НВ	Пз*
<i>Оранка на 22–32 см</i>						
0–100	158	87	1,03	78	43	0,49
100–180	128	75	0,94	87	51	0,64
0–180	286	81	—	165	47	—
<i>Безполицевий обробіток на 22–32 см</i>						
0–100	162	90	1,08	91	51	0,65
100–180	115	67	0,80	97	56	0,72
0–180	277	79	—	188	54	—
<i>Безполицевий обробіток на 10–12 см</i>						
0–100	166	92	1,10	85	47	0,60
100–180	120	72	0,88	113	66	0,82
0–180	286	82	—	198	56	—
<i>Безполицевий обробіток на 5–6 см</i>						
0–100	165	92	1,09	86	48	0,61
100–180	131	77	0,95	104	61	0,79
0–180	296	84	—	190	54	—

НПВ_{0,5}: 0–100 — 10 мм, 100–180 — 15 мм, 0–180 — 20 мм.

* Пз — показник зволоженості.

Статистична обробка показала (табл. 7.5), що незалежно від способу обробітку C_{Δ} у товщі 0–100 см змінюється в межах 0,1–0,18, а в товщі 100–180 см $C_{\Delta}=0,19–0,22$. Помилка дисперсії в метровій товщі не перевищує 5–10 % з 90–95 % випадків, а варіабельність коефіцієнта варіації весняних вологозапасів змінювалася в межах $C_{\Delta}=0,1–0,3$, що дає підставу віднести весняні вологозапаси, незалежно від способу обробітку, до однієї групи.

Згідно класифікації Л.С. Кельчевської [185] на всіх варіантах досліді сформувався тип режиму зволоженості — перехід від помірного весняного промочування (ПмВП) до повного весняного промочування (ПвВП). Рівень зволоженості чорнозему відповідає показникам помірного весняного промочування з підвищенням показників зволоження в липні при систематичному виконанні безполицевого глибокого та мілкового обробітків, що слід розцінювати як підвищення ступеня гідроморфізму чорнозему типового.

Таблиця 7.5. Вплив способу обробітку на статистичні параметри режиму зволоженості чорнозему типового середньогумусного за теплий період року за ротацію культур в сівозмінах Лівобережного Лісостепу України

Система обробітку ґрунту	0–100 см					100–180 см				
	$\pm Sw \cdot t$	w	Gw	v	Cv	$\pm Sw \cdot t$	w	Gw	v	Cv
<i>Друга декада квітня</i>										
Оранка на 22–32 см	19,0	27,7	8,0	0,18	17,0	20	28,0	9,0	0,22	15,0
<i>Безполицевий обробіток на:</i>										
22–32 см	17,0	28,0	8,0	0,18	16,0	20,0	26,0	11,0	0,23	19,0
10–12 см	20,0	29,0	7,5	0,18	15,0	19,0	24,0	7,0	0,19	17,0
5–6 см	11,0	16,0	6,0	0,10	16,0	11,0	15,0	9,0	0,12	18,0
<i>Друга декада липня</i>										
Оранка на 22–32 см	18,0	28,7	10,4	0,37	20,1	19,0	14,9	12,0	0,27	20,1
<i>Безполицевий обробіток на:</i>										
22–32 см	16,0	44,0	8,6	0,43	19,0	17,0	36,0	15,0	0,37	20,3
10–12 см	17,0	25,3	8,7	0,30	21,0	15,0	17,3	14,0	0,16	19,0
5–6 см	15,0	26,0	8,4	0,31	17,0	15,0	23,2	12,0	0,22	24,0

У квітні за систематичного застосування глибокої оранки в сівозміні відбувається процес насичення ґрунтової товщі вологою до значень НПВ і на більшу глибину порівняно з систематичним безполицевим обробітком на різну глибину. У весняний період за оранки ґрунтова волога має більш високу рухомість, а вологообіг активізується в значній товщі профілю чорнозему. Виникає стаціонарний капілярний потік і встановлюється термодинамічна рівновага між кількістю капілярної вологи, яка випаровується та кількістю, яка надходить з більш глибоких шарів ґрунту [65].

Чим вища ступінь насичення ґрунтового профілю вологою, тим довше в часі проявляється дія стаціонарного капілярного потоку до поверхні випаровування. Дія капілярного потоку припиняється при досягненні вологості розриву капілярів (ВРК) у профілі чорнозему. При ВРК починають проявляти одночасну дію два механізми переносу вологи: капілярний, який направлений проти градієнта зволоженості та конвекційно-дифузний, коли волога переноситься у вигляді водяної пари по фронту промочування вглиб ґрунтової товщі.

У водному балансі волога у вигляді водяної пари має виключне значення [240, 241, 284, 297, 398]. Одночасну дію капілярного та конвекційно-дифузного переносу слід розглядати як виникнення нелінійної дисипативної системи, яка знаходиться в стані термодинамічної нерівноваги.

У процесі вегетації польових культур співвідношення дольової участі різних механізмів переносу вологи схиляється на користь конвекційно-дифузного механізму [1–3, 401], а відносна ненасиченість вологою на глибині другого метра ґрунтової товщі чорнозему навесні за безполицевого обробітку сприяє включенню конвекційно-дифузного механізму переносу вологи на 1–1,5 місяці раніше, ніж за оранки. На глибині з постійною вологістю та температурою водяна пара скраплюється і знову починає підніматися до поверхні випаровування, досягаючи при цьому глибини 130–140 см від поверхні ґрунту в момент початку критичної фази (цвітіння—налив зерна або формування кошиків) розвитку культур — у кінці червня—середині липня.

На варіанті з систематичною оранкою аналогічні процеси починають проявлятися дещо пізніше, а волога, яка відганяється вглиб ґрунтового профілю у вигляді водяної пари, конденсується на значно більшій глибині через більш значне прогрівання ґрунтового профілю

у весняно-літній період. У силу цієї обставини, скраплена волога не встигає піднятися до того рівня, що досягається в умовах безполицевого обробітку, а тому сільськогосподарські культури затрачують значно більше енергетичних ресурсів на ріст кореневої системи для досягнення глибин у ґрунті з доступною вологою [240, 241]. Одночасне функціонування капілярного та конвекційно-дифузного механізмів переносу вологи сприяє формуванню вологообігу, який А.М. Алпатов [11] назвав вологообігом оптимального вологозабезпечення на всіх стадіях розвитку рослин.

Системи обробітку ґрунту вплинули на загальні витрати запасів продуктивної вологи з шару 0–180 см за теплий період року. Виявилося, що в умовах оранки за період квітень–листопад з метрової товщі витрачалося 60–85 мм; з товщі 100–180 см — 40–85 мм, а з товщі 0–180 см — 105–165 мм продуктивного запасу вологи. При ґрунтозахисних технологіях витрати вологи виявилися меншими в середньому у 1,2–1,5 рази відповідно до зазначених шарів ґрунту. Різними виявилися запаси продуктивної вологи на початку зими. При оранці в шарі 0–100 см вони змінювалися в інтервалі: 50–90 мм (0–100 см), 50–65 (100–180 см) та 100–155 мм (0–180 см), а при безполицевому обробітку були вищими на 12–17 мм, 15–25, 25–40 мм відповідно.

7.1.2. Режим зволоження чорнозему типового малогумусного в 5-пільній зерно-просапній сівозміні. Виявлено (рис. 7.1) що в квітні незалежно від способу обробітку ґрунту формувалися однакові запаси продуктивної вологи в 0–150 см товщі ґрунту, які залежно від умов року змінювалися в інтервалі 165–240 мм, а в метровій товщі — 130–170 мм.

Проте, у липні виявлено довгостроковий вплив різних способів обробітку на запаси продуктивної вологи в 0–150 см товщі чорнозему. За систематичної оранки запаси вологи становили 95–150 мм, а при безполицевому та поверхневому обробітках вони були вищими на 5–10 мм і 20 мм відповідно до обробітків. У метровій товщі чорнозему встановлена закономірність збереглася. Довгострокове виконання безполицевого і поверхневого обробітків забезпечило надбавку запасу продуктивної вологи 10–25 мм. Виявилося, що за систематичної оранки витрата запасу продуктивної вологи за період квітень–липень була найвищою: 106–122 мм (0–100 см шар ґрунту) та 90–100 мм (0–150 см шар ґрунту), тоді як за безполицевого та поверхневого обробітків витрата вологи на фізичне випаровування і транспірацію з

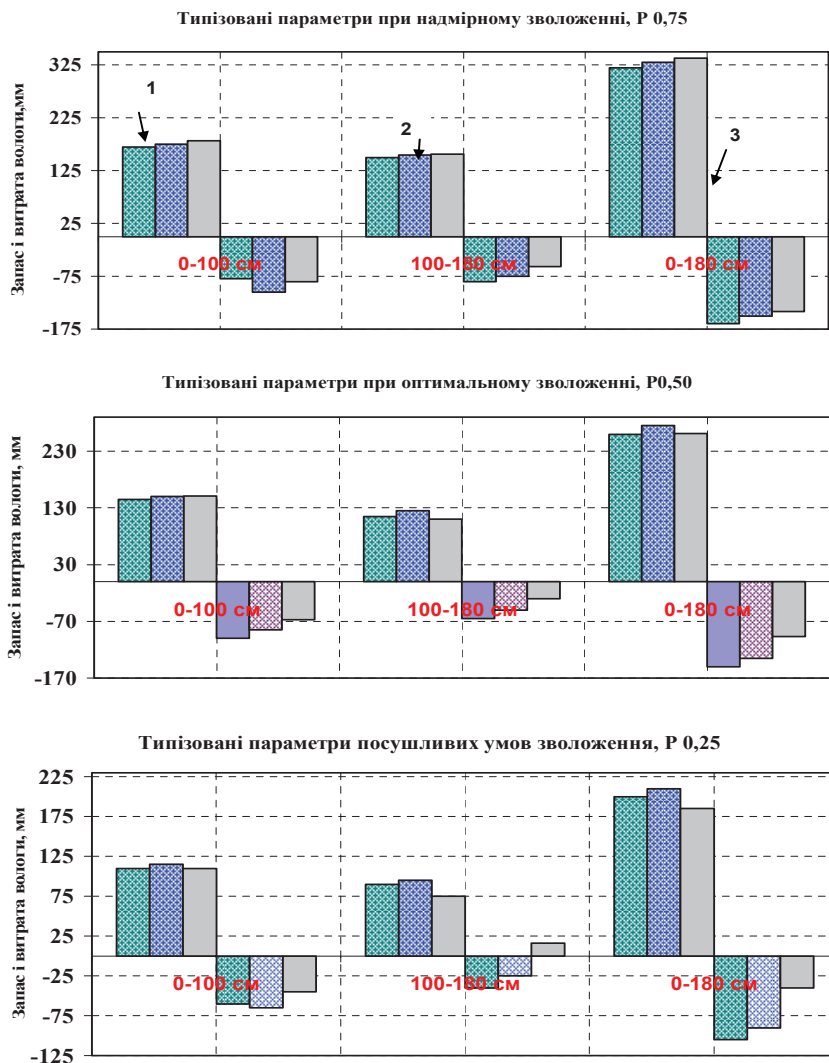


Рис. 7.1. Вплив системи обробітку чорнозему, типізовані запаси продуктивної вологи у квітні і її витрату за квітень–жовтень: 1 — оранка на 22–32 см; 2 — безпліцевий обробіток на 22–32 см; 3 — безпліцевий обробіток на 10–12 см

товщі 0–100 см була нижчою на 10 і 21 мм відповідно, а з 0–150 см товщі — на 5–20 мм. Витрата продуктивного запасу вологи по типових межових значеннях при зменшенні глибини обробітку зменшувалася в товщі 0–150 см на 20 мм відносно оранки.

У вересні за медіаною істотної різниці у вологозапасах у метровій товщі чорнозему не виявлено (79,0–82,0 мм). Суттєва різниця в запасах продуктивної вологи виявлена по мінімальних типових значеннях: за поверхневого обробітку в 0–50 см шарі ґрунтової товщі вологи було більше на 21 мм, а в цілому в товщі 0–100 см запас вологи був однаковим порівняно з оранкою і безполицевим обробітком. При поверхневому обробітку за період квітень — липень волога витрачалася в 1,2 раза ефективніше, ніж за систематичної оранки, а в цілому за період квітень—вересень у 1,12 раза ефективніше ніж за оранки. При глибоких обробітках більше витрачалося (62–65 %) вологи від загальних витрат у весняно-літній період, тоді як при поверхневому обробітку витрата продуктивного запасу вологи була більш рівною за весняно-літньо-осінній період.

7.2. Коефіцієнти водоспоживання сільськогосподарських культур за різних способів обробітку чорноземів у різноротаційних сівозмінах

7.2.1. Вологоспоживання культурами в 10-пільній зерно-просапній сівозміні. Для оцінки вологообігу при різних системах обробітку ґрунту ми розрахували коефіцієнти вологоспоживання культурами сівозміни. На формування урожаю за сівозміну з товщі 0–100 см і 0–180 см за глибокого безполицевого обробітку витрачено продуктивної вологи у 1,14–1,28, а при мілкому безполицевому обробітку на 10–12 см у 1,31–1,46 раза менше, ніж при систематичній оранці. При мілкому безполицевому обробітку з товщі 0–180 см витрачено на 566 мм менше продуктивної вологи, ніж при оранці, що відповідає середньо-багаторічній сумі опадів для південного Лівобережного Лісостепу України, або 57 мм ґрунтової вологи щорічно. Виконання глибокого безполицевого обробітку у сівозміні сприяє щорічній економії продуктивної вологи рівній — 391 мм, або 39 мм щорічно.

Величина коефіцієнта водоспоживання за сівозміну при мінімізації основного обробітку до 10–12 см знижувалась у 2 рази при розрахунку на товарну частину врожаю. За глибокого безполицевого обробітку коефіцієнт водоспоживання зменшився у 1,3 раза. Коефіцієнт

водоспоживання по відношенню до всієї біомаси (товарна частина урожаю + побічна продукція + коріння у шарі 0–30 см) рослин був дещо нижчим при систематичній оранці — $K=65$ проти $K=49$ і $K=43$ при безполицевих обробітках, але вищим у 1,3–1,5 раза. Зниження абсолютного значення коефіцієнта водоспоживання у перерахунку на всю біомасу рослини пояснюється занадто розвиненою надземною біомасою культур сівозміни.

Розрахунки для ланцюга сівозміни горох—озима пшениця виявили, що вологи на формування врожаю при оранці було витрачено — 2450 т/га проти 2080 і 930 т/га при глибокому і мілкому безполицевому обробітку. Коефіцієнт водоспоживання виявився найнижчим за мілкого безполицевого обробітку: $K=85$ проти $K=266$ і $K=210$ при оранці та глибокому безполицевому обробітку. Розрахунок коефіцієнтів водоспоживання на загальну біомасу культури виявив, що ефективність витрати вологи при оранці знижується. Коефіцієнти водоспоживання знижуються до рівня $K=79$ і $K=94$; при глибокому безполицевому до $K=64$ і $K=62$, а при мілкому обробітку до $K=63$ і $K=27$ відповідно до ланцюгів сівозміни однорічні трави — пшениця та горох—пшениця.

Найнижчими коефіцієнти водоспоживання у сівозміні були при вирощуванні буряку цукрового. У середньому за роки досліджень при оранці він становив $K=47$ проти $K=40$ при глибокому та $K=36$ при мілкому безполицевому обробітку. Вологи на формування врожаю витрачено при оранці 4450 т/га, а при глибокому і мілкому безполицевому обробітках 3950 і 3700 т/га, що у 1,13–1,20 раза менше відносно оранки. Аналогічну закономірність виявлено при вирощуванні соняшнику. Витрати вологи на формування врожаю насіння соняшнику знижувались, а коефіцієнти водоспоживання становили: $K=809$ при оранці проти $K=750$ і $K=455$ при глибокому та мілкому безполицевому обробітках, що у 1,08 і 1,8 раза нижче, ніж за систематичної оранки.

При вирощуванні кукурудзи на зерно більш ефективно використання продуктивної вологи було при безполицевих обробітках — коефіцієнти водоспоживання становили $K=140$ – 144 проти $K=226$ при оранці. Перерахунок коефіцієнтів водоспоживання на всю біомасу при вирощуванні соняшнику та кукурудзи на зерно показав, що абсолютне їх значення знижується при оранці і глибокому безполицевому обробітку на 27–30 %. Це пояснюється більшим наростанням побічної продукції у загальній вазі надземної маси.

Значення коефіцієнтів водоспоживання при вирощуванні кукурудзи на силос було невисоким і знижувалось від оранки до мілкого безполицевого обробітку. В останньому випадку він був у 1,7 раза меншим, ніж при оранці, а витрати продуктивної вологи на формування маси силосу були нижчими на 710 т/га. Варіант глибокого безполицевого обробітку займав проміжний стан між оранкою і мілким безполицевим обробітком.

Розрахунок показує, що у сівозміні найбільша кількість вологи припадає на формування врожаю зерна пшениці озимої та буряку цукрового. Так, при оранці витрата вологи на формування врожаю зерна пшениці озимої становила — 5450 т/га проти 4700 т/га при глибокому і 4000 т/га при мілкому безполицевому обробітках, що у 1,2 і 1,4 раза, менше ніж за оранки. Частка продуктивного запасу вологи з ґрунту, яка пішла на формування урожаю пшениці озимої у сівозміні, становила 30–33 % від загальної витрати незалежно від системи обробітку ґрунту. Аналогічні розрахунки по відношенню до пшениці озимої з урахуванням витрат вологи по напівпарових попередниках показали, що при оранці витрачається — 5650 т/га продуктивної вологи, а при безполицевому на 20–22 і 10–12 см — 4330 і 3130 т/га вологи відповідно. Якщо при оранці та глибокому безполицевому обробітку — 31–32 % вологи від загальних витрат, то при мілкому безполицевому обробітку — 26 %. Буряк цукровий за сівозміну витрачає за оранки 25 % (4450 т/га) вологи, при глибокому безполицевому — 28 % (3950 т/га) та 30 % (3700 т/га) при безполицевому обробітках на 10–12 см. Кукурудза на зерно та силос втрачає по 8–12 % вологи від загальних витрат за сівозміну.

7.2.2. Вологоспоживання сільськогосподарськими культурами в 5-пільних зерно-просапних сівозмінах. Виявлені закономірності вологоспоживання культурами 10-пільної зерно-просапної сівозміни на чорноземах типових середньогумусних південного Лівобережного Лісостепу проявилися в центральній частині Лівобережного Лісостепу на чорноземах типових малогумусних легкосуглинкових (табл. 7.6).

Виявлено, що на варіанті без унесення мінеральних добрив загальна витрата вологи з ґрунту та атмосферних опадів при безполицевому і поверхневому обробітках за ротацію культур була вищою на 86 т/га і 50 т/га, а значення коефіцієнтів вологоспоживання знижувалися від оранки до поверхневого обробітку, як до основної так і загальної сухої біомас. Внесення мінеральних добрив в кількості $N_{62}P_{66}K_{81}$ +

Таблиця 7.6. Вплив системи обробітку чорнозему типового малогумусного на коефіцієнти водоспоживання культур в 5-ти пільних сівоzmінах в умовах центральної частини Лівобережного Лісостепу (2001–2010 рр.)

Вихід основної продукції	Вихід загальної сухої біомаси	Витрата вологи: ґрунтова + атмосферна	Коефіцієнти водоспоживання до:	
			основної продукції	загальної сухої біомаси
т/га			на 1 тону	
Сівозміна з горохом				
Оранка 22–25 см без внесення добрив				
41,9	45,1	1568 (–)	3,74	3,47
Поверхневий обробіток на 10–12 см без добрив				
48,4	50,2	1618 (+50)	3,34	3,22
Безполицевий обробіток на 22–25 см без внесення добрив				
43,8	52,9	1654 (+86)	3,42	3,12
Сівозміна з багаторічними травами				
Оранка 22–25 см ($N_{62}P_{66}K_{81} + 7$ т/га побічної продукції)				
79,5	61,0	1710 (–)	2,15	2,80
Поверхневий обробіток на 10–12 см ($N_{62}P_{66}K_{81} + 7$ т/га побічної продукції)				
80,2	63,4	1662 (–48)	2,07	2,60
Безполицевий обробіток на 22–25 см ($N_{62}P_{66}K_{81} + 7$ т/га побічної продукції)				
79,2	63,3	1699 (–11)	2,14	2,70

7 т/га побічної продукції забезпечило зростання виходу основної продукції за систематичної оранки на 37,6 т/га; за безполицевого обробітку — на 35,4 т/га; при поверхневому обробітку — на 31,8 т/га, а вихід загальної сухої біомаси виявився практично рівним незалежно від способу обробітку ґрунту.

Витрата вологи на формування урожаю основної продукції та загальної біомаси найвищою була за систематичної оранки, а при безполицевому та поверхневому обробітках витрата вологи була нижчою на 11 т/га та 48 т/га. Коефіцієнти водоспоживання до основної продукції найвищими виявилися за систематичної оранки та безполицевого обробітку, а при поверхневому обробітку мали стійку тенденцію до зниження, табл. 7.6.

Отже, довгострокове, від 10 до 36 років, виконання поверхневого обробітку, в основі якого лежить обробіток на 10–12 см у сівозміні на 7–8-й рік знижує інтенсивність вологоспоживання в агроценозах, а сформований тип обігу води можна віднести до типу, в основі якого лежить явище самоорганізації відтворення режимних процесів у ґрунті, оцінкою якого є оптимальне співвідношення дії капілярного та конвекційно-дифузного механізмів переносу води у ґрунтовій товщі, що оптимізує забезпеченість водою культур в агроценозах, як у вегетативну, так і генеративну фази розвитку. Такий тип обігу води можна назвати оптимізованим на всіх стадіях розвитку культур в агроценозах, а комбінуючи різні обробітки по глибині, способу та інтенсивності можна змінювати водообіг залежно від потреби та мети, заради якої культура вирощується.

7.3. Ґрунтовідновна активність сільськогосподарських культур в агроценозах сівозмін за посилення ґрунтових умов гідроморфності

Серед основних факторів ґрунтоутворення в агроценозах є біологічний фактор, який включає життєдіяльність рослинних організмів і ґрунтової мікрофлори [187, 203]. Сучасний рівень знань дає можливість конкретизувати роль сільськогосподарських культур сівозміни в плані екологізації та адаптації землеробства, підсиленні їх ролі у формуванні і розширеному відтворенні ґрунтової родючості чорноземів типових південного Лівобережного Лісостепу України [331, 446].

Гумусоутворення та ґрунтоутворення є важливими фізіологічними і життєвими функціями сільськогосподарських культур та основою прояву потенційної і ефективної родючості чорноземів [308, 336–338]. Сучасне уявлення про процес формування родючості [466, 467] зводиться до оцінки здатності ґрунту у конкретних умовах забезпечувати оптимальність умов режиму фотосинтетичної діяльності сільськогосподарських культур або інтенсивності зв'язування енергії у системі ґрунт–рослина–атмосфера, що прямо пов'язано з активізацією ростових процесів у цілому та в окремі періоди вегетації.

У своїх дослідженнях нами обґрунтовано явище посилення фізіологічної активності сільськогосподарських культур в агроценозах під впливом безполицевого обробітку [121, 113]. У табл. 7.7 представлено результати досліджень впливу різних способів обробітку чорноземом типового на показники росту сільськогосподарських культур в агро-

Таблиця 7.7. Вплив системи обробітку чорнозему типового на показники вегетації сільськогосподарських культур у період сходів — початкові фази розвитку

Система обробітку ґрунту	Показники росту рослин:		Коефіцієнт інтенсивності вегетативного росту, Кі	Коефіцієнти кореляції між:	
	швидкість, г/добу	прискорення росту		щільністю будови, г/см³	польовою вологістю, %
Соняшник**					
В ₁	$\frac{1,30 \cdot 10^{-2}}{4,16 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,73 \cdot 10^{-3}}{1,30 \cdot 10^{-8}}$	— —	$\frac{070 \pm 0,09}{0,75 \pm 0,09}$	$\frac{-0,75 \pm 0,09}{-0,79 \pm 0,01}$
	$\frac{1,45 \cdot 10^{-2}}{4,60 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,90 \cdot 10^{-3}}{1,90 \cdot 10^{-8}}$	$\frac{1,10}{1,46}$	$\frac{0,70 \pm 0,08}{0,65 \pm 0,01}$	$\frac{-0,75 \pm 0,09}{-0,75 \pm 0,01}$
Кукурудза на зерно і силос					
В ₁	$\frac{1,45 \cdot 10^{-2}}{4,00 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,59 \cdot 10^{-3}}{1,50 \cdot 10^{-8}}$	— —	0,75±0,01	-0,80±0,09
	$\frac{1,35 \cdot 10^{-2}}{4,90 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,90 \cdot 10^{-3}}{1,90 \cdot 10^{-8}}$	$\frac{1,25}{1,28}$		
В ₂				0,75±0,09	-0,80±0,01

* У чисельнику — для надземної частини (В₁ — різноглибинна оранка 22–32 см), у знаменнику — для кореневої маси (В₂ — безполицевий обробіток на 5–12 см).

** Виробничий дослід в 1990–1992 рр.

ценозах у початковий період росту. Виявилося, що в умовах безполицевого обробітку практично всі культури у сівозміні інтенсивніше формують кореневу систему та надземну масу.

При вирощуванні соняшнику приріст надземної біомаси у стартовий період був інтенсивнішим при безполицевому обробітку. Аналогічну закономірність виявлено при вирощуванні кукурудзи на зерно та силос: в умовах безполицевого мінімального обробітку інтенсивність наростання надземної маси була вищою у 2,5–2,7 раза, ніж при оранці. Розрахунок коефіцієнта інтенсивності вегетативного росту (Кі), як співвідношення прискорень у рості рослин при оранці та безполицевому обробітку, показав, що Кі при ґрунтозахисних технологіях був більшим одиниці практично на всіх культурах у сівозміні.

У табл. 7.8 представлено результати досліджень кореневої системи культур у критичні фази розвитку під впливом різних систем обробітку чорнозему типового. В умовах беззмінної оранки, глибокого безполицевого обробітку та мілкого безполицевого обробітку загальна

Таблиця 7.8. Вплив системи обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на вміст (т/га) та перерозподіл (%) коренів у гумусному горизонті під просапними культурами у сівозміні

Потужність шару, см	Кукурудза на силос		Кукурудза на зерно		Соняшник*	
	Вміси коренів у гумусному горизонті					
	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Оранка на 22–32 см						
0–10	3,2	59,3	4,5	61,1	2,9	63
10–20	1,1	20,4	1,7	23,3	1,14	25
20–30	1,1	20,3	1,1	15,1	0,53	12
0–30	5,4	100	7,3	100	4,57	100
Глибокий безполицевий обробіток на 22–32 см						
0–10	3,5	63,4	5,0	67,0	2,46	58
10–20	1,1	20	1,5	20,0	1,14	27
20–30	0,9	16	1,0	13,3	0,64	15
0–30	5,5	100	7,5	100	4,24	100
Мілкий безполицевий обробіток на 5–12 см						
0–10	3,9	69,7	6,2	72	3,6	73
10–20	0,95	17	1,4	16,3	0,7	14
20–30	0,73	13,3	1,0	11,7	0,6	13
0–30	5,58	100	8,6	100	4,90	100

* Виробничий дослід в 1999–1992 рр.

кількість коренів у шарі ґрунту 0–30 см у фазу цвітіння кошиків соняшнику, початку наливу зерна кукурудзи та активного наростання коренів у буряку цукрового була практично однаковою відповідно до культур, але відбувся пошаровий перерозподіл коренів.

При мілкому обробітку кількість коренів у шарі ґрунту 0–10 см збільшується. При вирощуванні кукурудзи на силос на 4,1–10,4 %, кукурудзи на зерно — на 5,9–10,9 %, соняшнику — на 10 %. За сучасними даними об'єм кореневих виділень сільськогосподарських культур становить 8–25 % фотосинтетичної продукції рослин і пропорційний величині надземної маси рослин [101].

Свого максимального прояву коренева ексудация досягає в момент, коли вміст гумусу в ґрунті у сезонному циклі має мінімальне значення та починається процес гетеротрофної фіксації CO₂ ґрунто-

вою мікрофлорою (рис. 7.2). Підвищення вмісту АТФ у ґрунті на 25–250 % при ґрунтозахисних технологіях слід пов'язувати з діяльністю гетеротрофних мікроорганізмів [440, 432]. Кореневі виділення містять у собі амінокислоти, аміни, аміді та прогумусові фрагменти, які за принципом комплементарності можуть включатися у відтворення органічної речовини в ґрунті. Систематичне виконання ґрунтозахисних технологій у сівозміні стимулює прояв зазначеного механізму за рахунок більш оптимальних умов зволоження та підвищеної біогенності ґрунтових умов, що дає змогу забезпечити водорозчинний стан прогумусових та гумусових речовин у момент їх новоутворення і призводить до глибокого насичення товщі чорнозему розчином гумінових кислот, прогумусових речовин і $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, [337, 338, 441, 455].

Систематичне виконання безполицевого обробітку чорнозему в агроценозах на фоні оптимального внесення органічних і мінеральних добрив сприяє створенню стабільних трофічних груп мікроорганізмів із чітко визначеною просторовою прив'язкою до 0–15 см шару ґрунту і забезпечує відтворення їх екологічно вираженої сезонної динаміки та покращення гумусного стану чорнозему [65].

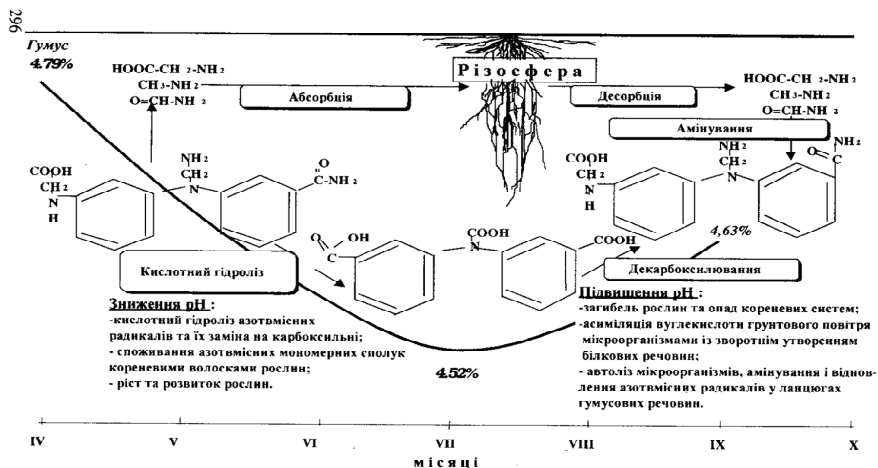


Рис. 7.2. Біохімічний механізм саморегуляції родючості ґрунту [129, 432, *].

* Шикіла М.К., Демиденко О.В. Саморегуляція родючості чорнозему в умовах ґрунтозахисного обробітку// Вісник аграрної науки. — № 6. — 2001. — С. 5–11.

Визначальним у цьому процесі є розміщення кореневих систем культурних рослин у верхній третині гумусного горизонту чорноземів типових. У агроценозах створюються стабільні угруповання асоціацій ґрунтових мікроорганізмів, для яких характерними є невеликі коефіцієнти флуктуації їх чисельності і наявність міцної структури кореляційних зв'язків між мікроорганізмами зимогенного, автохтонного, евтотрофного та оліготрофного блоків [453, 454].

Співставлення мас надземної частини рослин і коренів дає можливість оцінити адаптивні можливості рослин в умовах різних систем обробітку при наростаючому дефіциті вологи. Для компенсації водного дефіциту при погіршенні умов росту і великої витрати продуктивної вологи на транспірацію у період інтенсивного наростання надземної маси, рослини активно нарощують кореневу масу в порівнянні з ростом листової поверхні. Саме у цей момент закладається різниця (надбавка) урожаю сільськогосподарських культур на користь ґрунтозахисних систем їх вирощування [33, 34].

Великий інтерес викликає питання утворення CO_2 у зв'язку з діяльністю коренів. Вважається, що ґрунтові мікроорганізми є більш активними і універсальними гетеротрофними агентами агро- та природного ценозу. З цієї причини $2/3$ всього CO_2 у ґрунтовому повітрі утворюється в результаті їх діяльності, а $1/3$ — за рахунок діяльності кореневої системи [222, 477]. Дослідження показують, що у ґрунт через кореневу систему виділяється до 20 % від загальної маси вуглецю кореневого ексудату, мілких коренів, які за рахунок мінералізації поповнюють ґрунтове середовище CO_2 , а доля кореневої CO_2 від загальної кількості коливається від 10 до 40 % [485]. Одним з елементарних ґрунтових процесів (ЕГП) є дихання коренів, а між інтенсивністю дихання коренів та наростанням надземної вегетативної маси існує висока спряженість. Крива дихання коренів у сільськогосподарських рослин набуває свого максимуму у період цвітіння-закладки репродуктивних органів, а головним збудником окисних реакцій дихання у ґрунті, які визначають утворення і динаміку CO_2 , є саме життєдіяльність коренів [210, 364].

Ґрунтова вуглекислота, яка утворена живою речовиною — коренями рослин та мікроорганізмами — веде себе по іншому, ніж привнесена або виділена у процесі мінералізації органічної речовини. Під її впливом ґрунтова та атмосферна волога перетворюються в активну форму, утворюючи легкорухомі гідрокарбонати, а потім — прості

карбонати [455]. Карбонатоутворення у ґрунті пов'язується з CO_2 , яке виділено з коренів та мікроорганізмами (живою речовиною), а вуглекислота, яка утворилася у процесі мінералізації та дихання ґрунтової товщі може бути поглинута тільки у процесі фотосинтезу [65, 451].

Наші дослідження показали, що інтенсивність продукування поверхнею ґрунту CO_2 за умов виконання різних систем обробітку має істотну відмінність. В умовах ґрунтозахисних технологій інтенсивність дихання ґрунту (мг CO_2 на 100 г ґрунту за добу) при внесенні 20 т/га гною у шарах ґрунту 0–5 і 0–10 см була у 1,08–1,13, а при внесенні органічних і мінеральних добрив у 1,10–1,20 раза вищою, ніж при систематичній оранці. У ґрунтовому повітрі вміст CO_2 був більш стабільним у часі: у шарі 0–10 см — 0,60–1,03 %; 10–30 см — 0,73–1,31 % проти 0,39–1,02 та 0,77–1,45 % при оранці [65, 451].

Коренева система сільськогосподарських культур — основне джерело фізіологічно активних речовин, які протягом усього вегетаційного періоду відіграють першочергове значення у донорно-акцепторній взаємодії між культурами агроценозу, а також рослинами та мікробними ценозами у ґрунті [101, 156, 188–189]. У складі кореневого ексудату може бути до 30 % і більше азоту у органічній формі від загальної кількості його у рослинах; 20–37 % вуглецю, синтезованого у рослинах витрачається на процеси азотфіксації у ґрунті. Поглинуті коренями зольні елементи у репродукційний період розвитку рослин повертаються у ґрунт: 38–40 % К, 20–22 % Са, 10 % Mg [298]. Кореневий ексудат С.Л. Самцевич [378–380] називав одним з найактивніших форм активного природного перегною, а В.В. Пономарьова [336–338] вважала, що кореневі виділення є основним джерелом передгумусових речовин для всього гумусованого горизонту чорнозему.

Фізіологічно активною є та коренева система, яка функціонує в аеробних умовах — аеробне дихання коренів і приток вуглеводів із надземної маси рослин повинен лежати в основі культурного ґрунтоутворення. Анаеробні умови дихання — знижують здатність засвоювати елементи живлення, а в клітинах припиняється рух протоплазми, порушується синтез білків — знижується їх продуктивність [27].

За даними [343] загальна кількість речовин, виділених кореневою системою за період вегетації, наближається за величиною до господарського врожаю або навіть перевищує його. Через корені виділяється до 7,2 т/га засвоєного вуглецю рослиною в перерахунок на суху речовину. На ранніх фазах росту рослин кореневі виділення

становлять 7–10 % надземної маси рослин, а за вегетаційний період — 25 % загальної маси.

В умовах систематичного виконання ґрунтозахисних технологій процес виділення та насичення ґрунтової товщі кореневим ексудатом відбувається більш інтенсивно, ніж в умовах оранки. Тести проби показали, що інтенсивність наростання коренів індикаторних рослин крес-салату при ґрунтозахисних технологіях у липні нижче на 3–5 %, у серпні — на 4–8 %, вересні — на 8–10 %, а в середньому за період серпень–вересень на 5–8 % порівняно з варіантом систематичної оранки, що опосередковано свідчить про більш інтенсивну кореневу ексудацію [65].

Виявлено досить цікаві закономірності, властиві практично для всіх культур у сівозміні: в умовах оранки в період активного вегетативного росту спостерігається інтенсивне формування загальної надземної маси (табл. 7.9). У критичний період росту рослин, в умовах ґрунтозахисних технологій їх вирощування, змінюється структура надземної частини. При внесенні середніх доз добрив загальна маса рослин, порівняно з оранкою, дещо підвищується, але відбувається це за рахунок зростання товарної частки урожаю. В умовах ґрунтозахисних технологій відбувається процес упорядкування сезонної ритмічності окисно-відновного стану і кислотно-лужної рівноваги (див. підрозділ 6.2 у розділі 6), яка регламентує сезонний хід доступності окремих елементів живлення у їх найоптимальнішому співвідношенні в ґрунтовому розчині. У період інтенсивного росту рослин рН ґрунту в природних ценозах і при безполицевому обробітку буває значно нижчим, ніж в умовах систематичної оранки. Це призводить до підвищення рухомості макро- і мікроелементів. У першу чергу, підвищується рухомість фосфору, що подавляє активне нітратоутворення: кількість нітратів суттєво знижується, а кількість азоту в аміачній формі збільшується.

Зниження інтенсивності нітратоутворення прямо пов'язано з підсиленням активності ґрунтової сапрофітної гетеротрофної мікрофлори, яка мобілізує органічні та мінеральні фосфати. У весняний період окисно-відновний потенціал (ОВП) незалежно від способу обробітку ґрунту має високе значення. У генеративну фазу розвитку рослин при ґрунтозахисних обробітках ОВП помітно знижується (на 40–60 мВ), а при оранці підвищується від весни до осені, що істотно впливає на біофізичні процеси у ґрунті, які пов'язані з окисленням органічної речовини.

Таблиця 7.9. Вплив системи обробітки чорнозему типового на структуру загальної біомаси сільськогосподарських культур у сівоzmіні

Система обробітку ґрунту	Загальна біомаса, т/га	Структура загальної біомаси, т/га		В до А
		товарна частина (А)	побічна частина (В)	
Пшениця озима (фаза молочно-воскової стиглості)				
B ₁ (к)	7,9	3,9	4,0	1,1 до 1
B ₂ (к)	7,4	3,6	3,8	0,9 до 1
N ₅₀ P ₄₅ K ₄₅				
B ₁	10,3	4,5	5,8	1,3 до 1
B ₂	10,4	5,0	5,4	1,1 до 1
N ₇₀ P ₆₀ K ₆₀				
B ₁	11,5	5,0	6,5	1,3 до 1
B ₂	11,3	4,9	6,4	1,3 до 1
Горох (фаза наливу зерна)				
B ₁ (к)	5,4	2,8	2,6	0,9 до 1
B ₂ (к)	5,1	2,7	2,4	0,9 до 1
N ₃₀ P ₃₅ K ₄₀				
B ₁	6,0	3,1	2,9	0,9 до 1
B ₂	5,8	3,5	2,3	0,7 до 1
N ₄₀ P ₅₀ K ₅₀				
B ₁	6,5	3,2	3,3	1 до 1
B ₂	5,6	2,6	3,0	0,9 до 1
Кукурудза на зерно (фаза воскової стиглості)				
B ₁ (к)	31,9	6,4	25,5	4 до 1
B ₂ (к)	32,7	6,3	26,4	4 до 1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + 30 т/га гною				
B ₁	38,4	7,9	30,5	3,8 до 1
B ₂	41,0	9,5	31,5	3,3 до 1

Взаємозумовленість зазначених процесів є системним принципом саморегуляції в агроценозі і відображає перехідний етап від вегетативної фази розвитку рослин до генеративної [124, 127, 436].

З іншого боку, витрата продуктивного запасу вологи з ґрунтової товщі чорнозему в умовах оранки у вегетативну фазу розвитку була вищою у 1,15–1,40 раза порівняно з ґрунтозахисними технологіями.

За рахунок глибокого інтенсивного обробітку ґрунту у вегетативну фазу розвитку рослин активізується вологообіг у ґрунтовій товщі, а високе забезпечення нітратними формами азоту на фоні високих значень ОВП сприяє активному наростанню загальної біомаси рослин до початку закладки репродуктивних органів. На момент закладки репродуктивних органів (кінець червня—середина липня) при виконанні оранки ґрунтово-кліматичні умови різко погіршуються, а при ґрунтозахисних технологіях за рахунок більш високих у 1,25–1,40 раза запасів продуктивної вологи стають більш оптимальними, що, у кінцевому випадку, змінює структуру надземної загальної біомаси сільськогосподарських культур.

Дослідження [308] показують, що для утворення 1 т реального біологічного урожаю, рослини у посівах повинні засвоїти в процесі фотосинтезу біля 2–2,5 т CO_2 з повітря, а для отримання реального врожаю зерна пшениці 6,0 т/га, що еквівалентно отриманню біологічного урожаю — 15 т/га, потребує засвоєння рослинами у процесі фотосинтезу 30–35 т/га CO_2 . У період найбільшої інтенсивності росту рослин і найбільших добових приростів загальної біомаси, рослини повинні засвоїти з повітря 800–1500 кг CO_2 на 1 га, а у товщі посіву в повітрі знаходиться 5–6 кг/га CO_2 , тобто у 150–300 разів менше, ніж необхідно.

Саме використання як органічних добрив побічної продукції рослинництва, яка за безполіцевих обробітків загортається у верхню третину оброблюваного шару та забезпечує активізацію вуглецевого живлення, що було показано у розділі 3. Сільськогосподарські культури в агроценозах засвоюють необхідну кількість вуглекислоти за рахунок турбулентного переміщення великих мас повітря, а тому за світовий день відбувається 1500–3000 змін складу повітря у товщі посіву. Іншою статтею поповнення CO_2 є інтенсивність дихання ґрунту. Проте фотосинтетична активність рослин в агроценозі переважає швидкість турбулентного переносу CO_2 з мас повітря. У денні години концентрація CO_2 у зоні розміщення основної маси листків у посіві в 1,15–1,25 раза нижча, чим на висоті декількох метрів над посівом. Чим більш виражений градієнт концентрації вуглекислоти, більша затіненість наростаючою біомасою поверхні поля, тим нижче інтенсивність фотосинтезу сільськогосподарських культур в агроценозах. У реальній польовій обстановці південного Лівобережного Лісостепу України в умовах систематичного виконання оранки у літній період

інтенсивність фотосинтезу листків значною мірою починає лімітуватися умовами вуглекислотного, світлового режимів та погіршенням турбулентного газообміну у товщі посіву за рахунок надмірно розвинутої надземної біомаси.

З іншого боку, урожайність сільськогосподарських культур значною мірою (в окремі роки на 70–75 %) залежить від літніх атмосферних опадів, які досягають поверхні ґрунту у період максимальної зімкненості стеблостою в посівах. Наші дослідження показали [65], що в умовах оранки кількість опадів, яка досягає поверхні поля і фіксується у верхніх шарах ґрунту, була меншою на 25–30 %, а глибина промочування у 2,0–2,5 раза меншою порівняно з ґрунтозахисними технологіями. Надмірно розвинена листова поверхня практично повністю перехоплює літні опади, а агрофізична деградація поверхневих шарів чорнозему сприяє більшій на 20–30 % витраті вологи на фізичне випаровування. Високий рівень агрофізичного стану, наявність на поверхні ґрунту шару мульчі та більш довершена будова 0–30 см шару ґрунту сприяє тому, що у найпосушливіший період року (червень–серпень) зволоженість у гумусованому горизонті чорнозему не знижується нижче значень ВЗ, що сприяє подовженості періоду біологічної активності (ПБА) на 20–25 днів порівняно з варіантом систематичної оранки.

Ця обставина сприяє підсиленню біогенності ґрунту та інтенсивності виділення CO_2 поверхнею ґрунту, що стабілізує вміст вуглекислоти і турбулентність мас повітря у період найбільшої зімкненості стеблостою в посівах [446, 451]. При низькому рівні родючості [108, 33–34] ґрунту внесення мінеральних та органічних добрив призводить до поліпшення водозабезпеченості і мінерального живлення рослин, що значно покращує ростові процеси та впливає на площу листків.

Сільськогосподарські культури в агроценозах — це саморозвиваючі, авторегульовані, відкриті системи, а тому здатні долати сили, які ведуть до зростання ентропії та створюють високоврегульовані, динамічно стійкі комплекси різної ієрархії. Ми розуміємо принципи вирішення природою своїх інформативних проблем на прикладі збереження та передачі інформації про будову і спрямованість розвитку живого, в даному випадку, рослинного організму, але слід погодитися з тим, що природа здатна вирішувати свої інформаційні задачі не менш довершено в питаннях інформативного, кодованого

механізму прояву природного та культурного ґрунтоутворення у еко- й агроєкосистемах.

Своєю високою інформативністю та кодованістю культурні рослини визначають спрямованість розвитку ґрунтового середовища в агроценозах. Якщо генетична інформативність розвитку культурних рослин резонує з інформативністю розвитку ґрунтового середовища, то відбувається процес ґрунтоутворення або процес розширеного відтворення родючості в агроценозі. У випадку, коли процес інформативного або кодового розвитку ґрунту нав'язується системою землеробства, яка, в свою чергу, призводить до руйнування механізму саморегуляції в ґрунті, то ми стикаємось зі зниженням ґрунто-відновної здатності культурних рослин, а спрямованість розвитку ґрунту задається енергетичними затратами при виконанні системи обробітку, системою удобрення та меліорацій. Основне завдання системи землеробства — створити умови для прояву автокореляції між інформативністю розвитку культурних рослин і ґрунтового середовища, тобто сільськогосподарські рослини кодованістю свого розвитку повинні сприяти реалізації морфогенетичного коду (пам'яті) розвитку чорнозему в агроценозах.

Залишення та використання у якості органічного добрива подрібненої побічної продукції рослинництва з достатньою азотною компенсацією мінеральними добривами, яка загортається у поверхневий шар чорнозему за систематичного безполіцевого обробітку, моделює природний характер азотно-вуглецевого обігу у агроценозах різного типу, а відтворення природної моделі ґрунтоутворення в агроценозах забезпечується активізацією фотосинтетичної активності сільськогосподарських культур за рахунок відтворення стокових механізмів вуглецю при зростанні умісту CO_2 у приземних шарах атмосфери у період вегетації культур агроценозів за наростання теплового ресурсу, що повинно бути базовою моделлю розширеного відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

7.4. Оптимізація ґрунтово-кліматичних критеріїв вологозабезпечення родючості і енергетики ґрунтоутворення в агроценозах сівозмін

Сучасні системи землеробства з сукупністю технологій вирощування культур, в основі яких лежить глибокий інтенсивний обробіток у сівозміні, який базується на оранці, сприяє посиленню

ксероморфності (остепнінню) умов ґрунтоутворення чорноземів в агроценозах завдяки глибокому літньому висушуванню, що призводить до вкорочення гумусного горизонту за рахунок посилення деградаційних процесів: активній дегуміфікації та агрофізичній деградації всієї ґрунтової товщі. Дослідження Е.С. Мигунової, та В.І. Коптева показують, що у різних ґрунтово-кліматичних умовах формування чорноземів під лісовими насадженнями (лісополосами) намічається тенденція зміщення ґрунтоутворювального процесу до півночі. У результаті чого чорноземи південних фацій за рядом ознак наближаються до чорноземів більш північних широт у зональному аспекті. За рахунок великого вмісту карбонатів кальцію у лесових породах і відсутності умов для їхнього вилугування розвиваються ґрунти, які мають усі ознаки ґрунтів чорноземного типу. Опівнічнювання ґрунтоутворення чорноземів у зазначеному генетичному ряду під впливом лісонасаджень призводить до утворення більш родючих ґрунтів. Уплив лісополос на опівнічнювання ґрунтоутворення чорноземів розповсюджується 80–100 м углиб поля (гідрологічна дія лісополоси), а далі відбувається остепніння ґрунтоутворення.

В ґрунтово-екологічних підзонах і ґрунтових провінціях Лівобережного Лісостепу України умови фаціального ґрунтоутворення чорноземів типових при покращенні ґрунтових умов у річному та сезонному циклах, відтворенні агрофізичних властивостей і гумусу при застосуванні мінімального безполіцевого обробітку можуть змінюватись у напрямку чорноземів більш вологих фацій відносно фонових ґрунтів, а стійка тенденція зрушення ґрунтоутворювального процесу чорноземів в умовах агроценозу зони нестійкого зволоження до півночі (опівнічнювання ґрунтоутворення по ряду основних показників родючості) призводить до утворення більш родючих чорноземів за рахунок посилення ступеня гідроморфізму у сезонному та річному циклах (див. розд. 7.1).

Сукупністю технологій вирощування сільськогосподарських культур в агроценозах різноротаційних сівозмін можна впливати на фаціальне гумусонакопичення чорнозему, як у бік підсилення ксероморфності ґрунтових умов оптимально зволжених чорноземів типових при систематичному виконанні інтенсивного обробітку (оранки) в сівозміні, так і в напрямку підсилення гідроморфності ґрунтової товщі в сезонному та річному циклах під впливом систематичного застосування ґрунтозахисних технологій, які базуються на безполи-

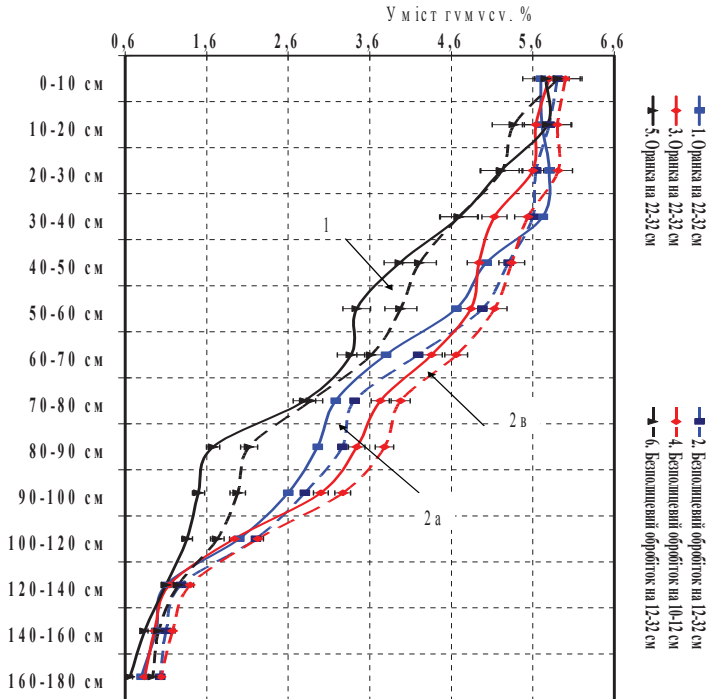


Рис. 7.3. Довгостроковий вплив обробітку чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України на гумусонакопичення при внесенні $N_{65-85}P_{75-85}K_{65-70} + 12-15$ т/га гною: 1 — чорноземи типові середньогумусні середньосуглинкаві (Шишацький р-н Полтавської області, 30 років безполіцевого обробітку); 2 — чорноземи типові середньогумусні легкоглинисті Карлівський р-н Полтавської області); а — 10 років безполіцевого обробітку; в — 18 років безполіцевого обробітку

цевому обробітку на 5–12 см, що є головним у відновленні природних процесів ґрунтоутворення чорноземів типових в агроценозах.

Управління фаціальним гумусонакопиченням чорноземів типових в агроценозах має сприйматися, як один із детермінуючих принципів ведення адаптивного землеробства у Лівобережному Лісостепу України.

Встановлено [115], що довгострокове застосування мінімального безполіцевого обробітку сприяє підвищенню ступеня гідроморфіз-

му товщі чорнозему в сезонному і річному циклах та інтенсивному гумусонакопиченню, що діагностується по потемнінню перехідних горизонтів у профілях чорноземів у зональному аспекті (табл. 7.10, рис. 7.3). За 10–15 років в товщі чорнозему 0–100 см вміст гумусу зріс — на 0,24–0,33 %, а в товщі 0–180 см — на 0,23–0,24 %. Виконання безполицевого обробітку протягом 25 років призводить до збагачення товщі чорнозему гумусом на 0,22–0,25 %.

Довгострокове застосування безполицевого обробітку в агроценозах впливає на морфолого-генетичні особливості товщі чорнозему при польовій діагностиці на рівні підтипової диференціації ґрунту на підзональному рівні через показник КВАГ (коефіцієнт відносної акумуляції гумусу за М.І. Полупаном, як співвідношення між вмістом гумусу (%) у 0–30 см шарі до 10 % фізичної глини (ФГ)). Після 10-ти років застосування ґрунтозахисних технологій величина цього показника становила: КВАГ=1,05 проти КВАГ=1,07 при оранці, а після 15-ти років КВАГ=1,04, що становить 104 % відносно оранки.

Через 25 років значення КВАГ зростає до 1,31 (103 %). Коефіцієнт профільного накопичення гумусу (КПНГ) у метровій товщі (вміст гумусу на 1 % ФГ або КВАГ на 10 % ФГ) по відношенню оранки ста-

Таблиця 7.10. Вплив способу обробітку чорнозему типового середньогумусного на запаси гумусу в товщі 0–180 см на 10-й рік проведення досліджень (південна частина Лівобережного Лісостепу)

Потужність шару ґрунту, см	Оранка на 22–32 см*	Безполицевий обробіток		НСР _{0,5}
		22–32 см	5–12 см	
0–30	$\frac{191}{47,8}$	$\frac{194}{38,3}$	$\frac{205}{36,7}$	$\frac{16,0}{—}$
0–70	$\frac{355}{76,6}$	$\frac{375}{73,5}$	$\frac{390}{73,4}$	$\frac{32,0}{—}$
70–100	$\frac{65,0}{12,8}$	$\frac{77,0}{15,5}$	$\frac{80,0}{15,3}$	$\frac{16,0}{—}$
100–180	$\frac{43,0}{9,2}$	$\frac{58,0}{11,4}$	$\frac{64,0}{11,4}$	$\frac{17,0}{—}$
0–180	$\frac{463}{100}$	$\frac{510}{100}$	$\frac{520}{100}$	$\frac{58,0}{—}$

* У чисельнику — т/га, у знаменнику — % від загального вмісту.

Таблиця 7.10*. Довгостроковий вплив безполіцевого обробітку на вміст гумусу та показники гумусонакопичення чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України

Система обробітку ґрунту	Глибина, см ; вміст гумусу %				Показники гумусонакопичення			
	0 – 40	40-70	70-100	100-180	0-100 100-180	КВАГ ⁽¹⁾ 0-100 см	КПНГ ⁽²⁾ 0-100 100-180	Градація гумусо- накопичення
Чорнозем типовий середньогумусний середньосуглинковий 25 років у виробництві								
1	5,32	3,62	2,21	0,92	3,71 3,01	0,79	0,076 0,025	Помірно слабка
2*	5,25	4,10	2,43	1,24	3,93 3,26	0,89	0,089 0,032	Середня
±	-0,04	+0,48	+0,22	+0,32	+0,22 +0,25	—	—	—
Чорнозем типовий середньогумусний легкоглинистий (Карлівський р-н, Полтавської обл.) 10 років у досліді								
1	5,68	4,45	2,75	1,15	4,29 3,50	0,79	0,075 0,019	Помірно слабка
2	5,69	4,77	3,13	1,34	4,53 3,73	0,88	0,083 0,023	Середня
±	+0,01	+0,32	+0,38	+0,19	+0,24 +0,23	—	—	—
Чорнозем типовий середньогумусний середньосуглинковий 15 років у виробництві								
1	5,49	4,66	3,39	—	4,51	0,75	0,076	Помірно слабка
2*	5,79	4,99	3,73	—	4,84	0,89	0,081	Середня
±	+0,30	+0,33	+0,34	—	+0,33	—	—	—

Примітки: 1 — оранка на 22-32 см; 2 — безполіцевий обробіток на 5-12 см; * безполіцевий обробіток на 5-12 см та 22-32 см. ⁽¹⁾ КВАГ — коефіцієнт відносної акумуляції гумусу, ⁽²⁾ КПНГ — коефіцієнт профільного накопичення гумусу (за М.І. Полуланом, 2002 р.).

Таблиця 7.10^{**}. Вплив ґрунтозахисних технологій на стан родючості залежно від ресурсів вологозабезпечення та енергетики фаціального ґрунтоутворення чорнозему типового південної частини Лівобережного Лісостепу України при внесенні $N_{75}P_{85}K_{65} + 15$ т/га гною у другу половину ротації культур у сівоозміні

Система обробітку	Гумус		Опади за листопад–березень, квітень–жовтень	Запас вологи у ґрунті, мм	Показник зволоженості, ПЗВ	Агропотенціал пшениці озимої після гороху за родючістю, 1988–1992 рр.				
	% т/га	т/га								
							0–30	0–100 0–200		
									см	
Оранка на 22–32 см	$\frac{5,63}{191}$	$\frac{420}{463}$	$\frac{1,05}{0,96}$	$\frac{176}{349}$	$\frac{49-50}{22-27}$	$\frac{160}{95}$	$\frac{128}{86}$	$\frac{1,03}{0,50}$	$\frac{0,94}{0,65}$	$\frac{4,90}{5,61^{**}}$
Безполіцевий обробіток на 22–32 см	$\frac{5,78}{195}$	$\frac{452}{510}$	$\frac{1,15}{0,96}$	$\frac{176}{349}$	$\frac{50-54}{25-32}$	$\frac{172}{122}$	$\frac{121}{113}$	$\frac{1,08}{0,65}$	$\frac{0,80}{0,75}$	$\frac{4,81}{6,08}$ $\frac{6,57}{6,57}$
Безполіцевий обробіток на 5–12 см	$\frac{5,88}{205}$	$\frac{460}{520}$	$\frac{1,25}{0,96}$	$\frac{176}{349}$	$\frac{51-55}{27-35}$	$\frac{175}{130}$	$\frac{130}{127}$	$\frac{1,10}{0,70}$	$\frac{0,88}{0,85}$	$\frac{4,88}{6,67}$ $\frac{6,35}{6,35}$
НСР _{0,95}	$\frac{0,08}{16,0}$	$\frac{32,0}{60,0}$	—	—	—	$\frac{10,0}{18,0}$	$\frac{15,0}{21,0}$	—	—	$\frac{0,52}{0,52}$

* У чисельнику — КВАГ (коефіцієнт відносної акумуляції гумусу за М.І. Полуланом (2003 р.)), у знаменнику — ГТКС (гідротермічний коефіцієнт за Селяніновим).

** У чисельнику — при внесенні $N_{55}P_{46}K_{45}$, у знаменнику — при внесенні $N_{65}P_{60}K_{60}$.

новить 105–111 % (КПНГ=0,85–0,98 проти КПНГ=0,78–0,88), що відповідає градації доброго і дуже доброго гумусонакопичення, тоді як при оранці гумусонакопичення погіршується від помірно доброго до помірно слабкого, що відповідає темпам гумусонакопичення на чорноземах звичайних північного Степу.

Відбувається остепніння ґрунтоутворення чорноземів більш північних фацій в умовах Лісостепової зони і навпаки, покращення темпів гумусоутворення на чорноземах звичайних у Степовій зоні.

В умовах ґрунтозахисних технологій має місце збагачення ґрунтового профілю чорнозему гумусом — величина КВАГ (коефіцієнт відносної акумуляції гумусу за М.І. Полупаном) досягає значень 1,15–1,25 (посилення гідроморфності) тоді як при оранці — 1,06 (наростання ксероморфності), що свідчить про посилення ґрунтоутворення у першому випадку та його послаблення у другому. При ґрунтозахисних технологіях досягається градація дуже доброго гумусонакопичення, а при систематичній оранці гумусонакопичення збереглося на доброму рівні. Між засвоєнням опадів, показниками зволоженості товщі чорнозему у літній період і величиною КВАГ виявлено тісний кореляційний зв'язок ($R=0,95-0,98$), що свідчить про істотний вплив системи ґрунтозахисних технологій на прояв потенційної й ефективної родючості, ресурсу вологозабезпечення та енергетику ґрунтоутворення чорноземів в агроценозах південної частини Лівобережного Лісостепу України.

Систематичне застосування безполіцевого обробітку при вирощуванні сільськогосподарських культур в умовах південного Лівобережного Лісостепу виступає потужним фактором відтворення природного статусу та управління процесом накопичення гумусу в чорноземах у фаціальному аспекті, що діагностується за потемнінням (збільшенню грубизни) перехідних горизонтів ґрунтової товщі чорнозему типового від затьоків гумусу. Уміст гумусу в товщі 70–100 см при ґрунтозахисних технологіях був у 1,18–1,23, а у товщі 100–200 см — у 1,35–1,48 рази вищим ніж при оранці. У товщі 0–180 см гумусу було більше у 1,10–1,12 рази при безполіцевому обробітку вирощування культур порівняно з систематичною оранкою, що свідчить про стійку тенденцію збагачення органічною речовиною профілю чорнозему (див. табл. 7.10*, 7.10**).

Оцінка агропотенціалу пшениці озимої після гороху за станом родючості чорнозему на кінець ротації показала, що ґрунтозахисні

технології підвищують урожай зерна на 0,47 т/га при глибокому та на 1,06 т/га при мілкому безполицевому обробітку при внесенні середніх норм добрив порівняно з оранкою.

Розрахунок запасу енергії в гумусі в профілях чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України в зв'язку з використанням різних систем обробітку і утримання показали, що розорювання довгострокового перелогу знижувало запаси енергії в гумусі в гумусованому горизонті — на 18 — 19 %; у горизонті Нрк — на 16–17 %; НРк — на 19–20 % та Рhk — на 26 % (табл. 7.11*).

Довгострокове виконання безполицевого обробітку протягом 10-ти років в умовах південного Лівобережного Лісостепу України сприяло відтворенню запасів енергії гумусу в гумусному горизонті — на 3,7–7,4 %, а в перехідних горизонтах енергія гумусу відтворилася — на 20,6 % (70–90 см); 14 % (90–120 см) та 14–16 % у товщі 120–180 см. Застосування безполицевого обробітку впродовж 15-ти років сприяло більш значному відтворенню енергії гумусу: 8,75–10,2 % в гумусованому горизонті та 15,5–16,5 % у товщі 70–120 см. На чорноземах типових середньогумусних середньосуглинкових (центральна частина Лівобережного Лісостепу) застосування безполицевого обробітку впродовж 25-ти років сприяло відтворенню запасів енергії гумусу в гумусованому горизонті на 6,9–12,1 %, а у перехідному НРк (70–90 см) горизонті — на 16 %, у горизонті Рhk (90–100 см) — на 18–19 %.

У перехідних горизонтах (НРк та Рhk) зменшення енергії в гумусі при розорюванні цілини за 54 роки становило 19–25 %, а відтворення при довгостроковому (15–25 років) застосуванні безполицевого обробітку відтворює запас енергії гумусу на 16–18,5 %. Утримання чорнозему в стані перелогу впродовж 17-ти років свідчить про те, що у ґрунтовій товщі 40–90 см відтворюється запас енергії гумусу — на 20,6–25,4 %. Систематичне застосування безполицевого обробітку впродовж 25 років забезпечує відтворення енергії гумусу не нижче, ніж при утриманні чорнозему у стані перелогу (див. табл. 7.11).

Оцінку темпів фаціального гумусонакопичення на чорноземах Лівобережного Лісостепу проведено шляхом розрахунку коефіцієнтів посилення фаціального накопичення гумусу ($K = J_g : J_y$). Виявлено (табл. 7.11*), що темпи фаціального накопичення гумусу зростають у 6,7 раза в зональному вимірі з північної частини Лісостепової зони до межування Степової та Лісостепової зони, а далі на південь темпи фаціального накопичення гумусу знижуються до 2,7 раза. Кількість

Таблиця 7.11. Вплив безполицевого обробітку та утримання чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу України на зростання запасу енергії гумусу при внесенні $N_{60-85}P_{65-75}K_{60-65} + 10-15$ гною на 1 га, (млн Ккал на 1 га)

Обробіток ґрунту	Потужність горизонтів, см					
	$H_{(0-40)}$	$Hr_{k(40-70)}$	$HP_{k(70-90)}$	$Phr_{(90-120)}$	$P(h)_{k(120-170)}$	$Pk_{(170-200)}$
<i>Чорноземи типові середньогумусні легкоглинисті (10 років у досліді)</i>						
Оранка на 22–32 см	$4,30 \cdot 10^2$	$2,02 \cdot 10^2$	$0,63 \cdot 10^2$	$0,486 \cdot 10^2$	$0,175 \cdot 10^2$	$0,110 \cdot 10^2$
Безполицевий обробіток	$4,46 \cdot 10^2$	$2,17 \cdot 10^2$	$0,76 \cdot 10^2$	$0,554 \cdot 10^2$	$0,205 \cdot 10^2$	$0,131 \cdot 10^2$
$\pm$ до оранки %	$\frac{+0,16 \cdot 10^2}{+3,72}$	$\frac{+0,15 \cdot 10^2}{+7,43}$	$\frac{+0,13 \cdot 10^2}{+20,6}$	$\frac{+0,68 \cdot 10^2}{+14,0}$	$\frac{0,03 \cdot 10^2}{+17,1}$	$\frac{0,033 \cdot 10^3}{+19,1}$
<i>Чорноземи типові середньогумусні легкоглинисті (15 років у виробництві)</i>						
Оранка на 22–32 см	$4,00 \cdot 10^2$	$2,06 \cdot 10^2$	$0,90 \cdot 10^2$	$0,39 \cdot 10^2$	—	—
Безполицевий обробіток	$4,35 \cdot 10^2$	$2,27 \cdot 10^2$	$1,10 \cdot 10^2$	$0,48 \cdot 10^2$	—	—
$\pm$ до оранки %	$\frac{+0,35 \cdot 10^2}{+8,7}$	$\frac{+0,21 \cdot 10^2}{+10,2}$	$\frac{0,20 \cdot 10^2}{+22,2}$	$\frac{0,09 \cdot 10^2}{+23,1}$	—	—
<i>Чорноземи типові середньогумусні середньосуглинкові (25 років у виробництві)</i>						
Оранка на 22–32 см	$4,01 \cdot 10^2$	$1,65 \cdot 10^2$	$0,56 \cdot 10^2$	$0,35 \cdot 10^2$	$0,24 \cdot 10^3$	$0,85 \cdot 10^2$
Мінімальний обробіток	$4,14 \cdot 10^2$	$1,85 \cdot 10^2$	$0,65 \cdot 10^2$	$0,43 \cdot 10^2$	$0,29 \cdot 10^2$	$0,91 \cdot 10^2$
$\pm$ до оранки %	$\frac{+0,13 \cdot 10^2}{3,24}$	$\frac{+0,20 \cdot 10^2}{+12,1}$	$\frac{+0,90 \cdot 10^2}{+16,1}$	$\frac{+0,08 \cdot 10^2}{+22,8}$	$\frac{+0,8 \cdot 10^2}{+21,0}$	$\frac{0,05 \cdot 10^2}{+7,01}$

енергії в надбавці гумусу від застосування безполицевого обробітку впродовж 10 років перевищує запас енергії в надбавці врожаю, що свідчить про відтворення природних процесів ґрунтоутворення в агроценозах у зональному вимірі.

Підвищений ступінь гідроморфізму чорноземів типових в агроценозах сівозмін при безполицевому обробітку необхідний для забезпечення умов посилення ґрунтовідновної активності кореневих систем

Таблиця 7.11*. Зміна коефіцієнтів посилення фаціального гумусонакопичення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України від застосування безполіцевого обробітку

Кліматична зона	Запас енергії через 10-15 років застосування безполіцевого обробітку в надбавці:		$\frac{\Delta}{J_g - J_y}$	Коефіцієнт посилення фаціаль- ного гумусо- накопи- чення, K= J _g : J _y
	урожаю, J _y	гумусу, J _g *		
	млн ккал. на 1 га			
Північна частина центрального Лівобережного Лісостепу	390·10 ⁴	1120·10 ⁴	+730·10 ⁴	$\frac{3,0^{**}}{100}$
Південна частина Лівобережного Лісостепу	250·10 ⁵	500·10 ⁶	+475·10 ⁶	$\frac{20,0}{665}$
Центральна і південна частини Степової зони	750·10 ⁴	555·10 ⁵	+480·10 ⁵	$\frac{7,4}{243}$

*Шар ґрунту 0–100 см; ** К / %.

із метою глибокого насичення кореневим ексудатом (прогумусовими речовинами фізіологічного походження) товщі чорнозему та забезпечення водорозчинного стану прогумусових і гумусових речовин у момент їх новоутворення [337, 338], завдяки чому відбувається інтенсивне глибоке насичення (на глибину регулярного промочування ґрунтового профілю) прогумусовими речовинами фізіологічного походження та новоутвореними гумусовими речовинами, головним чином гуматами Са другої фракції гумусових кислот (табл. 7.12).

Посилення фаціального накопичення гумусу при безполіцевому обробітку відбувається за рахунок забезпечення високою міграційною здатністю гумусових кислот у момент їх новоутворення в умовах підвищеного гідроморфізму ґрунтової товщі чорнозему в сезонному та річному циклах. підвищується їхня оптична щільність на 10–15 % [115].

Оптимальна агрофізична побудова гумусованого горизонту утримує концентрацію вуглекислоти в ґрунтовому повітрі на депресивному рівні ($>1,24$ – $1,25$ %) для окисно-відновних процесів, що забезпечує глибоку гуміфікацію новоутворених гумусових речовин і кореневого ексудату: гумінові кислоти зв'язані з Са, які мають високу

Таблиця 7.12. Вплив ґрунтозахисних технологій на гумусний стан чорнозему типового на 10-й рік від початку проведення досліджень при внесенні за сівозміну $N_{85}P_{75}K_{65} + 15$ т/га гною

Товща, см	Загальний гумус		Гумусові речовини, які здатні до пептизації (1+2 фракції ГК) за М.М. Годліним		
	%*	т/га	%	т/га	рухомість, %
0–30	5,61 5,66	195 215	2,08 2,23	79,0 82,0	53,0 42,0
30–40	4,58 4,73	247 275	1,95 1,81	69,0 63,0	50,0 40,0
40–70	3,49 3,75	117 125	1,50 1,38	48,0 38,0	49,0 38,0
70–100	2,29 2,53	78,0 87,0	1,10 1,15	38,0 29,0	69,0 35,0
<i>HCP_{0,5}</i>					
0–30	0,05	10,5	0,11	5,0	5,0
30–40	0,06	15,1	0,21	8,0	7,0
40–70	0,12	12,0	0,23	12,0	9,0
70–100	0,15	12,0	0,19	9,0	15,0

* У чисельнику — оранка на 22–32 см, у знаменнику — безполицевий обробіток на 10–12 см.

оптичну щільність, можуть просочуватись через товщу карбонатного елювію в ґрунотвірну породу [9–10].

При систематичній оранці, в умовах глибокої аридизації ґрунтових умов товщі чорнозему в літній період, новоутворені гумусові речовини швидко пересихають, що посилює їх мінералізацію та знижує міграційну здатність по профілю чорнозему. У першому випадку відбувається “опівнічнювання” ґрунтоутворення чорноземів більш південних фацій, а у другому випадку, відбувається процес остепніння ґрунтоутворення чорноземів більш північних фацій в агроценозах. У міру наближення до більш північних фацій чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України більш ефективно гумусоутворення відбувається при глибокому безполицевому обробітку, а за умов поверхневого обробітку процес накопичення гумусу послаблюється. В останньому випадку більш ефективно гумус накопичується у поверхневих шарах ґрунтової товщі (табл. 7.13).

Таблиця 7.13. Довгостроковий вплив способу обробітку та утримання чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового на вміст та запаси гумусу в 0–150 см товщі

Потужність шару ґрунту, см	На початку досліджень*	Спосіб обробітку			Переліг 35 років	НІР _{0,5}
		оранка на 22-27 см	безполицевий на:			
			22-27 см	10-12 см		
0-20	$\frac{3,78}{99,0}$	$\frac{3,96}{99,0}$	$\frac{4,03}{100}$	$\frac{4,05}{108}$	$\frac{5,31}{135}$	$\frac{0,05}{5,0}$
0-50	$\frac{3,62}{229}$	$\frac{3,85}{240}$	$\frac{3,87}{250}$	$\frac{3,65}{230}$	$\frac{4,95}{300}$	$\frac{0,08}{10,0}$
50-100	—	$\frac{2,70}{105}$	$\frac{2,65}{110}$	$\frac{2,89}{105}$	$\frac{3,35}{185}$	$\frac{0,1}{10,0}$
0-100	—	$\frac{3,27}{345}$	$\frac{2,67}{360}$	$\frac{2,95}{335}$	$\frac{4,14}{485}$	$\frac{0,09}{15,0}$
100-150	—	$\frac{1,13}{70,0}$	$\frac{1,18}{75,0}$	$\frac{1,25}{80,0}$	$\frac{1,45}{90,0}$	$\frac{0,08}{12,0}$
0-150	—	$\frac{2,21}{310}$	$\frac{2,22}{325}$	$\frac{2,12}{310}$	$\frac{2,81}{390}$	$\frac{0,08}{15,0}$

* За І.С. Шаповал, 2010 р.

Систематичне виконання ґрунтозахисних технологій у сівозміні, в основі яких лежить обробіток ґрунту без обертання скиби, сприяє оптимізації режиму зволоженості під культурами зерно-просапних різноротаційних сівозмін, ґрунтоутворення в агроценозах слід сприймати, як посилення сукупної дії біологічного фактору в умовах сільськогосподарського використання чорноземів за рахунок покращення гідротермічних ґрунтових умов у сезонному та річному циклах, який забезпечує процес управління функціонально-екологічними та фаціальними закономірностями накопичення гумусу чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України.

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ УМОВИ ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ

8.1. Фізико-хімічні умови відтворення родючості чорноземів

На початку ХХ століття, завдяки дослідженням К.К. Гедройца [88–89] було покладено початок дослідженням по вивченню залежності між поглинальною здатністю, складом обмінних катіонів та генезисом ґрунтів [67, 100, 231–234, 353]. Відомо, що рівень урожайності обмежується “деформованими” колоїдно-хімічними властивостями чорноземів [106, 354–356, 370]. Основним показником поглинальної здатності ґрунту є кислотно-основна буферність [370, 392]. Її значення пов’язано з проблемою ґрунтової кислотності, розрахунком доз добрив, питаннями гіпсування та розорювання, а також з негативним впливом кислотних опадів на ґрунт та екосистему [12]. За дослідженнями Т.Ф. Зайцева [160] вивчення кислотно-основної буферності, поглинальної здатності і властивості колоїдно-хімічного комплексу ґрунтів важливі у плані встановлення спрямування культурного ґрунтоутворення та генезису чорноземів. Глинисті і суглинкові чорноземи типові з підвищеним умістом обмінних катіонів та карбонатів мають більш високу буферну здатність до підкислення, але і на таких чорноземах зафіксовано процеси декальцинації та вторинного підкислення [190, 191, 360]. При ґрунтозахисних технологіях обробітку ґрунту, які базуються на безполіцевих обробітках на різну глибину з поверхневим загортанням мінеральних добрив, гною і побічної продукції, відбувається концентрація мінеральних добрив та інших хімічних чинників штучної родючості у верхній третині гумусового горизонту, а за оранки в нижній частині оброблюваного шару [90–91, 107, 285, 314–317].

Особливої актуальності набувають питання зміни фізико-хімічних властивостей при виконанні різних способів обробітку чорноземів, що пов’язано з різною локалізацією мінеральних добрив у 0–30 см

шарі: при оранці вони розподіляються більш рівномірно в орному шарі, а при безполицевому обробітку відбувається локалізація мінеральних добрив у поверхневих шарах (0–15 см) оброблюваного шару ґрунту.

У табл. 8.1 представлено результати визначення фізико-хімічних показників на 5-й рік від початку проведення дослідів. Було внесено від початку досліджень $N_{320}P_{360}K_{295} + 60$ т/га гною. Виявилося, що найбільш помітні зміни виявлено при виконанні безполицевого обробітку на 5–12 см. У шарі ґрунту 0–10 см гідролітична кислотність становила 1,8–2,8 мг-екв/100 г ґрунту, а шарах ґрунту 30–40 см та 40–50 см гідролітична кислотність набувала мінімальних значень, що свідчить про максимальне насичення поглинального комплексу іонами кальцію.

При виконанні оранки та глибокого безполицевого обробітку значення гідролітичної кислотності у шарі ґрунту 0–10 см був дещо вищим, ніж при безполицевому обробітку на 5–12 см. Величина

Таблиця 8.1. Вплив різних систем обробітку ґрунту на фізико-хімічні властивості чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на 9-10-й рік від початку дослідів, $N_{320}P_{360}K_{295} + 60$ т гною

Глибина, см	Оранка на 22-32 см				Безполицевий обробіток на:							
					22-32 см				5-12 см			
	Сума увібраних основ	Гідролітична кислотність	Ємність катіонного обміну	Ступінь насиченості основами	Сума увібраних основ	Гідролітична кислотність	Ємність катіонного обміну	Ступінь насиченості основами	Сума увібраних основ	Гідролітична кислотність	Ємність катіонного обміну	Ступінь насиченості основами
	мг-екв/100 г				%				%			
0–5	41,0	2,9	46,9	87,0	40,0	2,8	45,8	87,0	43,0	2,2	47,0	88,0
5–10	41,0	2,5	46,5	88,0	43,0	3,2	49,2	87,0	41,0	2,2	46,0	89,0
10–20	42,0	2,5	46,5	90,0	43,0	2,6	47,6	90,0	44,0	1,8	45,8	96,0
20–30	42,0	2,6	44,6	94,0	42,0	2,6	44,6	94,0	43,0	1,4	45,8	94,0
30–40	40,0	2,0	42,0	95,4	43,0	2,0	45,0	96,0	43,0	0	43,0	100
40–50	42,0	0,9	42,0	100	42,0	0,8	42,0	100	42,0	0	42,0	100

суми поглинутих основ істотно не змінювалась під впливом різних способів обробітку. Дещо вищою вона була у шарі ґрунту 0–5 см при виконанні безполицевого обробітку на 5–12 см (+2,0 мг-екв/100 г ґрунту); 10–20 см: +2 мг-екв/100 г ґрунту, 30–40 см: +3 мг-екв/100 г ґрунту, що фактично не вплинуло на ступінь насиченості основами гумусного горизонту чорнозему типового. Закономірність зміни ступеня насиченості основами була загальною для всіх варіантів обробітку: з поверхні (0–5 см і 5–10 см) насичення основами підвищувалась — у шарі ґрунту 10–20 см при глибоких обробітках до 90 %, а при мілкому безполицевому обробітку до 96 % (+6 %); у шарі ґрунту 20–30 см насиченість основами була однаковою (94 %), а у нижній частині гумусного горизонту (30–40 см) при глибоких обробітках становила — 95–96 %, а при мілкому безполицевому обробітку досягала 99–100 %.

Аналогічні визначення зроблено на 9–10-й рік від початку проведення досліджень. Було внесено $N_{650}P_{680}K_{570} + 150$ т/га гною. При систематичному виконанні безполицевого обробітку на 5–12 см величина обмінної кислотності в шарі ґрунту 0–20 см становила: $pH_{сл.}=5,8-6,1$, а при глибокому безполицевому обробітку — $pH_{сл.}=5,8-5,9$. У шарі ґрунту 20–30 см при оранці та глибокому безполицевому обробітку: $pH_{сл.}=7,4-7,6$, проти $pH_{сл.}=6,44$ при безполицевому обробітку на 5–12 см. У товщі 40–100 см значення $pH_{сл}$ незалежно від способу обробітку чорнозему знаходилось в інтервалі значень $pH_{сл.}=7,1-7,2$. Сума поглинутих основ і ступінь насичення основами знаходились у межах характерних параметрів для чорнозему типового і закономірно знижувались від поверхні до глибини одного метра. Ступінь насиченості основами до глибини 30–40 см був на рівні 95–96 %, а нижче цієї глибини на всіх обробітках був на рівні 100 % (табл. 8.2).

При утриманні перелогу (10 років) величина обмінної нейтральності (за Ремезовим) в гумусному горизонті (0–40 см) знаходилася у межах $pH=6,38-6,92$. У перехідних горизонтах гумусованого горизонту (40–70 см і 70–100 см) обмінна нейтральність перевищує значення $pH=7,0$, а з глибиною підвищувалася до $pH=7,22-7,36$.

Систематичне виконання різних способів обробітку ґрунту на варіантах, де вносились мінеральні й органічні добрива, вплинуло на величину обмінної нейтральності: при оранці до значень $pH=5,93-5,95$ у шарі ґрунту 0–10 см; до $pH=6,20$ у шарі ґрунту 10–20 см та $pH=5,84-5,95$ у шарі ґрунту 0–10 см при безполицевому обробітку

Таблиця 8.2. Вплив системи обробітку на фізико-хімічні властивості чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на 9-10-й рік від початку досліджень, $N_{650}P_{680}K_{595} + 150$ т/га гною

Глибина см	Оранка на 22-32 см				Безполицевий обробіток на:							
					22-32 см				5-12 см			
	pH _{KCl}	Сума увібраних основ	Ємність катіонного обміну	Ступінь насиченості основами	pH _{KCl}	Сума увібраних основ	Ємність катіонного обміну	Ступінь насиченості основами	pH _{KCl}	Сума увібраних основ	Ємність катіонного обміну	Ступінь насиченості основами
		мг-екв на 100 г ґрунту	%			мг-екв на 100 г ґрунту	%			мг-екв на 100 г ґрунту	%	
0-5	6,10	42,0	48,0	88,0	5,9	40,0	44,7	87,0	6,1	43,0	49,6	87,0
5-10	5,8	41,0	46,8	88,0	5,8	42,0	48,0	87,0	6,0	42,0	46,0	89,0
10-20	6,0	42,0	46,5	90,0	6,2	43,0	48,0	90,0	6,1	44,0	48,0	92,0
20-30	7,6	42,0	45,0	93,0	7,4	42,0	45,0	94,0	6,4	43,0	46,6	93,0
30-40	7,2	40,0	42,0	95,0	7,2	43,0	45,0	96,0	7,1	42,0	44,0	96,0
40-50	7,4	42,0	42,0	100	7,2	42,0	42,0	100	7,2	42,0	42,0	100
50-70	7,1	34,7	34,7	100	7,3	34,7	34,7	100	7,2	35,0	35,0	100
70-100	7,2	35,0	34,0	100	7,3	35,0	36	100	7,3	35,0	36,0	100

на 5–12 см. Найменше зниження величини обмінної нейтральності виявлено при мілкому безполицевому обробітку на 10–12 см на варіанті без добрив (табл. 8.3).

На варіанті, де було внесено $N_{650}P_{680}K_{550} + 150$ т/га гною, величина обмінної нейтральності за різних способів обробітку знижувалась по відношенню до перелогу: при оранці до значень $pH=5,58-6,20$ у шарі ґрунту 0–30 см; при глибокому безполицевому обробітку до $pH=5,54$ у шарі ґрунту 0–5 см та до $pH=5,84-6,20$ у шарі ґрунту 5–20 см. При мілкому безполицевому обробітку у шарі ґрунту 0–5 см до $pH=5,45$, а у шарі ґрунту 5–30 см до значень $pH=6,47-6,65$.

Аналогічні зміни відбуваються при мінімальному безполицевому обробітку на 5–6 см: у шарі ґрунту 0–10 см значення знижувалось до

Таблиця 8.3. Вплив способу обробітки чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на величину обмінної нейтральності на 9–10-й рік від початку проведення досліджень при внесенні $N_{650}P_{680}K_{595} + 150$ т/га гною

Потужність шару, см	Оранка на 22-32 см	Безполицевий обробіток на:			Переліг 10 років
		22-32 см	10-12 см	5-6 см	
Без внесення мінеральних і органічних добрив (контроль)					
0-5	6,11	5,95	6,11	5,95	6,60
5-10	5,93	5,86	6,02	5,94	6,65
10-20	6,02	6,20	6,11	6,93	6,92
20-30	7,64	7,28	6,28	7,24	6,39
30-40	6,74	7,30	7,20	7,30	7,10
40-50	7,09	7,39	7,31	7,31	7,36
50-70	7,20	7,18	7,26	7,65	7,22
70-100	7,25	7,25	7,25	7,66	7,26
N ₆₅₀ P ₆₈₀ K ₅₉₅ + 150 т/га гною					
0-5	5,57	5,54	5,45	5,01	5,93*
5-10	5,93	6,20	6,47	5,66	5,48
10-20	6,20	6,84	6,83	6,62	6,20
20-30	5,58	6,83	6,65	6,65	6,65
30-40	6,74	7,20	7,37	6,74	6,74
40-50	7,43	7,28	7,37	7,33	7,28
50-70	7,63	7,38	7,38	7,25	7,50
70-100	7,65	7,40	7,40	7,30	7,55

* Різноглибинний безполицевий обробіток на 12–32 см із внесенням $N_{650}P_{680}K_{595} + 5$ т/га соломи.

pH=5,01–5,56, а у шарі ґрунту 20–40 см, як і при безполицевому обробітку на 10–12 см, було на рівні значень при утриманні перелогу.

У шарі ґрунту 30–40 см при оранці як на варіанті, де вносились мінеральні добрива, так і без їх унесення, величина обмінної нейтральності була нижчою на перелозі: pH=6,74 проти pH=7,10. При виконанні глибокого і мілкого безполицевих обробітків величина обмінної нейтральності, відповідно до удобреного і неудобреному варіантів, була вищою, ніж на перелозі: pH=7,20–7,37 проти pH=7,10. У шарах ґрунту 40–70 см, 70–100 см ґрунту величина обмінної нейтральності перевищувала значення нейтральної реакції як на контролі без добрив, так і при їх внесенні незалежно від системи обробітку.

При оранці на контролі без органічних і мінеральних добрив зниження обмінної нейтральності відбувається у шарі 0–10 см, а при внесенні мінеральних добрив у шарі 30–40 см. При виконанні безполицевих обробітків на різну глибину обмінна нейтральність знижується у шарі ґрунту 0–5 см (у більш значній мірі при внесенні мінеральних добрив) та, у меншій мірі, у шарі 5–10 см, а шари ґрунту 10–20 см, 20–30 см, 30–40 см майже не змінюють величину обмінної нейтральності.

На варіанті, де вносились мінеральні добрива на фоні гною, який загортався у шар ґрунту 0–12 см, як кореневі та пожнивні рештки, відбувалося підвищення рН обмінної нейтральності до значень на перелозі, але у шарі ґрунту 0–5 см вплив кислотних опадів і фізіологічно-кислих добрив підсилював свою дію, що знижувало обмінну нейтральність. У табл. 9.4 представлено результати визначення ненасиченості основами ґрунтового поглинального комплексу під впливом різних способів обробітку ґрунту, абсолютні значення якої можуть досягати значної величини і появлятися на значній глибині, а завдяки високому вмісту гумусу й обмінних основ ступінь насичення чорноземів типових змінюється мало. Дослідження показали, що найнижче значення ненасиченості основами було при утриманні перелозу: у шарі ґрунту 0–5 см — 3,0 мг-екв./100 г ґрунту, а у шарі ґрунту 5–30 см — 0,34–0,62 мг-екв./100 г ґрунту. Виконання різних способів обробітку ґрунту сприяє підвищенню ненасиченості основами.

На контролі без органічних і мінеральних добрив у шарі ґрунту 0–5 см та 5–10 см цей показник підвищується до 6,4–6,52 мг-екв./100 г ґрунту при оранці, та до 5,17–6,75 мг-екв./100 г, 5,14–6,23 мг-екв./100 г та 4,59–5,56 мг-екв./100 г ґрунту при різноглибинному, мілкому і мінімальному безполицевому обробітках. У шарі ґрунту 10–20 см не насиченість основами підвищується від оранки до мінімального безполицевого обробітку, а в більш глибоких шарах ґрунту (20–30 см, 30–40 см) ненасиченість основами при оранці становила 1,11 мг-екв./100 г.

На варіанті де було внесено $N_{650}P_{680}K_{570} + 150$ т/га гною величина ненасиченості основами була у прямій залежності від способу обробітку (табл. 8.4). За оранки величина ненасиченості основами у шарі ґрунту 0–10 см становила 5,84–5,94 мг-екв./100 г ґрунту, при глибокому безполицевому обробітку — 5,70–6,02 мг-екв./100 г ґрунту. Систематичне виконання мілкого та мінімального безполицевого

Таблиця 8.4. Вплив способу обробітку чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого на величину ненасиченості основами, мг-екв./100 г ґрунту, на 9-10-й рік від початку досліджень при внесенні N650P680K595+150 т/га гною

Потужність шару, см	Оранка на 22-32 см	Безполицевий обробіток на:			Переліг 10 років	НСР _{0,95}
		22-32 см	10-12 см	5-6 см		
Без внесення мінеральних і органічних добрив (контроль)						
0-5	6,41	6,75	5,14	5,56	3,00	0,08
5-10	6,52	5,17	6,23	4,59	0,62	0,09
10-20	3,00	3,89	5,00	5,00	0,41	0,07
20-30	0	0	3,61	3,80	0,34	—
30-40	1,11	0	3,27	3,54	0	—
40-50	0,74	0,35	2,15	3,12	0	—
50-70	0	0	0	0	0	—
N ₆₅₀ P ₆₈₀ K ₅₉₅ + 150 т/га гною						
0-5	5,94	5,70	5,43	6,48	4,09	0,08
5-10	5,84	6,02	3,29	4,40	7,00	0,09
10-20	4,52	4,80	3,20	4,70	4,68	0,07
20-30	3,02	3,02	2,03	3,48	4,00	—
30-40	2,00	2,01	0	0	0,67	—
40-50	1,15	0,95	0	0	0	—
50-70	0	0	0	0	0	—

обробітку сприяло тому, що у шарі ґрунту 0–5 см ненасиченість основами досягає рівня — 5,43–6,48 мг-екв./100 г ґрунту, а у шарі ґрунту 5–20 см знижується до значень — 3,29–4,40 мг-екв./100 г ґрунту. Найнижче значення ненасиченості основами у шарі ґрунту 0–30 см виявлено при мілкому безполицевому обробітку — 3,20 мг-екв./100 г ґрунту проти 4,30–4,80 мг-екв./100 г ґрунту на інших варіантах обробітку ґрунту. При оранці та різноглибинному безполицевому обробітку не насиченість основами виявлено у шарі ґрунту 30–40 см, тоді як при мінімальному безполицевому обробітку ненасиченість основами дорівнює нулю.

Отже, чорноземи типові середньогумусні легкоглинисті можуть бути ненасичені основами, а рівень ненасиченості може досягати 5–6 мг-екв./100 г ґрунту. Систематичне застосування безполицевого обробітку сприяє підвищенню точок обмінної нейтральності і зни-

женню ненасиченості основами в гумусному горизонті, а підвищення оструктуреності чорноземів зумовлене наближенням значення актуальної кислотності до ізоелектричного стану колоїдів, які перебувають у коагульованому стані, що співпадає з висновками Н.П. Ремезова [353]. Істотних відмінностей у фізико-хімічному стані генетичних горизонтів чорнозему (40–70 і 70–100 см) від систематичного впродовж (8–10 років) застосування безполицевого обробітку не виявлено.

8.2. Рециркуляційне відновлення фізико-хімічних властивостей чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України [131]

Заходом господарського поліпшення чорноземів типових з кислотою реакцією на рівні середньої та підвищеної потреби в меліорації є їхнє вапнування. Кожна тонна вапняного добрива дає на чорноземах типових з кислотою реакцією за весь час своєї дії (близько 10 років) приблизно 1,0 т додаткового врожаю в перерахунок на зерно. У вологих районах, навіть при внесенні 8–10 т/га гною, не можна запобігти втратам кальцію з ґрунту та підвищенню його кислотності. Вимивання кальцію з чорноземів, що мають низьку природну родючість — об'єктивний природний процес, якому треба протиставити штучне збагачення ґрунту кальцієм за рахунок унесення вапняних добрив. Вапнування сприяє мобілізації фосфатів ґрунту, тим самим поліпшує живлення рослин фосфором, а калій важкорозчинних мінералів переходить у рухомі й доступні сполуки.

В соломі зернових культур міститься 0,25–0,31 % кальцію; в стеблах кукурудзи — близько 0,5 %, в соломі гороху — 1,82 %, в стеблах соняшнику — 1,53 %, у гречаній соломі — 0,95 %, в стеблах сої — 1,4 %, кормових культурах — 0,95–2,53 %. Винос основною продукцією кальцію з ґрунту значно менший, ніж накопичення в побічній продукції: зернових у 3–5 рази, кукурудзи — в 16 разів, соняшнику — в 8 разів, гороху та сої — у 9–20 разів.

Лише цукрові буряки виносять Са більше, ніж повертається з гичкою в ґрунт, що формує від'ємний баланс Са. Але це не впливає на загальний баланс кальцію з тієї причини, що відсоток площ буряку цукрового у структурі сівозміни незначний. Баланс Са в 10-пільній сівозміні в умовах інтенсивного глибокого обробітку ґрунту при повному вилученні побічної продукції та внесенні 15 т/га гною становить +90 кг або 9 кг/га сівозміни (табл. 8.5).

Таблиця 8.5. **Баланс Са в 10-пільній зерно-просапній сівоzmіні з насиченням зерновими 40 % та технічними культурами 30 % при різному вилученні побічної продукції в умовах Південного Лівобережного Лісостепу**

Структура сівоzmіни	Повне вилучення побічної продукції			При поверненні 40 % побічної продукції		
	винос Са	надход- ження, Са	баланс Са, ±	винос Са	надход- ження, Са	баланс Са, ±
	кг/га					
$N_{85}P_{75}K_{65} + 15 \text{ т/га гною}$						
Разом за сівоzmіну, кг/га	575	345	−230	460	435	−25
Надходження з гноєм, кг/га	—	320	320	—	320	320
Баланс за сівоzmіну, кг/га	—	665	+90	—	755	+295
На 1 га сівоzmіни, кг/га	−58	66	+9,0	−46	76	+30
Інтенсивність балансу, %			60,0			95,0

Повернення 40 % побічної продукції (солома озимої пшениці та кукурудзи) забезпечує зростання бездефіцитності балансу Са в 3,3 раза, що відповідає +30 кг на 1 га сівоzmіни.

Сучасні 5-пільні сівоzmіни з насиченням зерновими та зернобобовими культурами до 80 % істотно змінюють вихід побічної продукції, яка використовується в якості органічних добрив. Так, за 2 ротації в сівоzmіні з горохом побічна продукція без унесення добрив становила 28,5 т/га, а при внесенні добрив — 56,9 т/га, тоді як в сівоzmіні з травами вихід побічної продукції був меншим на 33 % і 25 % відповідно. Інтенсивність балансу Са при повному вилученні побічної продукції становить 60 %, при поверненні побічної продукції 95 %. У короткоротаційних сівоzmінах унесення добрив підвищувало вихід основної продукції в 2,1–2,5 раза незалежно від типу сівоzmіни [*].

* Демиденко О.В. Ефективність альтернативних способів вапнування чорноземних ґрунтів // Вісник аграрної науки. — 2011. — № 11. — С. 23–25.

Відсоток основної продукції в загальній біомасі абсолютно сухої речовини в сівозміні з горохом становив — 41 %, тоді як у сівозміні з травами — 53–55 %, хоч загальний вихід основної продукції був вищим у сівозміні з горохом на 124–105 % порівняно з сівозміною з травами. Важливою статтею у балансових розрахунках є вихід кореневих решток, яких без унесення добрив у сівозміні з горохом було 4,2 т/га та 8,29 т/га на удобреному фоні, тоді як у сівозміні з травами кореневих решток було — 6,15 і 9,91 т/га відповідно до удобреного та удобреного фонів (табл. 8.6).

Вищим виявився вихід поживних решток у сівозміні з травами, що вплинуло на загальну масу побічної продукції, кількість якої була вищою на 147 і 113 % відповідно до контролю без добрив та удобреного фону.

Проте загальна маса нетоварної частки врожаю в сівозміні з горохом без внесення добрив становила 28,3 т/га та 55,5 т/га при внесенні добрив, тоді як у сівозміні з травами загальна маса побічної продукції була меншою в 1,20–1,23 раза. Загальна біомаса культур у сівозміні з горохом становила 64,4 т/га і 137,9 т/га /га, що більше, ніж у сівозміні з травами в 1,2 та 1,12 раза. Відсоток, який припадає на масу коріння у першому випадку — 6,0–6,6 %, а в другому 8–11 %. Частка побічної продукції в сівозміні з горохом становила — 40–41 %, а з травами 34–35 %.

Таблиця 8.6. Вихід поживно-кореневих залишків відносно врожаю основної продукції в короткоротаційних сівозмінах різного типу спрямування в середньому за 2 ротації для умов центральної частини Лівобережного Лісостепу.

Вихід рослинних решток, тонн:					Співвідношення до основної продукції
основної	побічної	післяживних	кореневих	разом нетоварної продукції	
Зерно-просапна сівозміна, 60 % зернових + 20 % технічних + 20 % горох*					
14,1	20,6	3,48	4,23	28,3	1:0,5
27,8	40,4	6,77	8,29	55,46	1:0,5
Зерно-просапна з травами, 60 % зернових + 20 % технічні + 20 % кормових					
13,7	12,0	5,15	6,15	23,3	1:0,6
27,8	22,9	7,22	9,91	40,0	1:0,7

* У чисельнику — без добрив, у знаменнику — $N_{31}P_{33}K_{41}$, у сівозміні.

Заміна гною на побічну продукцію впливає на баланс Са (табл. 8.7). У випадку сівозміни з горохом баланс становить +38,6 кг/га, а в сівозміні з багаторічними травами — + 48 кг/га. Інтенсивність балансу Са становила — 379 %, у першому випадку, та 84 % у другому. Зменшення інтенсивності балансу Са у сівозміні з багаторічними травами зумовлюється вилученням великої маси багаторічних трав, що компенсується надходженням Са з кореневої та поукісної маси.

У цілому надходження Са в сівозміні з травами переважає сівозміну з горохом у 2,4 раза. В 5-пільних сівозмінах під впливом довгострокового (понад 35 років) глибокого безполицевого (меншою мірою) та поверхневого обробітку (більшою мірою) відбувається припинення декальцинації чорнозему типового малогумусного середньосуглинкового. Реакція ґрунтового середовища в 0–40 см шарі ґрунту ($pH_{\text{сол.}}$) при оранці та поверхневому обробітку була на рівні $pH_{\text{сол.}}=6,67-7,27$. При безполицевому обробітку та утриманні перелогу $pH_{\text{сол.}}=5,58-6,43$. У шарі ґрунту 0–10 см при поверхневому обробітку $pH_{\text{сол.}}=6,38$, тоді як при оранці, безполицевому обробітку та перелозі $pH_{\text{сол.}}=5,64-5,98$.

Таблиця 8.7. **Баланс Са в 5-пільних сівозмінах різного типу за 2 ротації при повному поверненні побічної продукції зернових і технічних культур на фоні внесення $N_{31}P_{33}K_{41}$ на 1 га сівозміни**

Структура сівозміни	Винос Са	Надходження, Са	Баланс Са, ±
	кг/га		
Зерно-просапна сівозміна з насиченням зерновими 60 % + 20 % технічні			
Разом за сівозміну, кг/га	13,5	110	+96,5
На 1 га сівозміни, кг/га	2,7	22	+19,3
На 1 га сівозміни за 2 ротації	5,4	42	+38,6
Інтенсивність балансу, %			379
Зерно-просапна сівозміна з насиченням зерновими 60 % + 20 % багаторічні трави			
Разом за сівозміну, кг/га	140	258	+118
На 1 га сівозміни, кг/га	28	52,0	+24
На 1 га сівозміни за 2 ротації	56	104	+48
Інтенсивність балансу, %			84,0

Гідролітична кислотність при оранці та безполицевому обробітку в шарі ґрунту 0–30 см становила — 1,19–1,27 мг-екв./100 г ґрунту, а при поверхневому обробітку — 0,11–0,44 мг-екв./100 г ґрунту, що вплинуло на значення суми увібраних основ, яка при поверхневому обробітку зросла до 35 мг-екв./100 г ґрунту, тоді як при безполицевому обробітку сума увібраних основ знижувалась (табл. 8.8).

Важливим показником стану чорнозему — є кислотно-лужна буферність [300]. У цілому в гумусному горизонті чорнозему найвищий рівень буферності проти підкислення був при поверхневому обробітку: зниження активної реакції ґрунту від підкислення відносно точки обмінної нейтральності становило 17 %. При глибоких обробітках і утриманні перелогу відбувається активізація карбонатів у профілі чорнозему та підтягуванням карбонатів у гумусний горизонт (вміст становить 0,55 %, запас — 28 т/га). Підсилення буферної здатності проти підкислення зростає з глибиною, а найвище значення має в шарі ґрунту 30–40 см. Вміст активних карбонатів при безполицевих обробітках у 0–20 см шарі ґрунту становили 0,18–0,21 %, тоді як при оранці 0,09–0,1 % (рис. 8.1).

Таблиця 8.8. **Довгостроковий вплив способів обробітку чорнозему типового мало-гумусного на фізико-хімічні властивості 0–40 см шару ґрунту 7 т/га побічної продукції + $N_{31}P_{33}K_{41}$ кг. д. р. (Драбівське дослідне поле), 2010–2012 рр.**

Потужність шару ґрунту, см	Кислотність		Сума увібраних основ	Гідролітична кислотність	Місткість катіонного обміну	Ступінь насиченості основами, %	Реакційна здатність гумусу за Лактіоновим (ПРЗГ)
	pH _в	pH _{сл}					
Оранка на 22–25 см							
0–20	6,45	5,89	25,91	1,81	26,71	97,0	6,04
20–40	6,61	6,07	26,33	1,20	26,51	99,0	6,55
Безполицевий обробіток на 22–25 см							
0–20	6,48	5,58	24,65	1,35	26,42	93,3	5,63
20–40	6,95	6,43	25,11	0,95	25,92	97,0	6,11
Поверхневий обробіток на 8–12 см							
0–20	7,08	6,67	31,01	0,44	30,26	98,6	7,03
20–40	7,67	7,27	30,11	0,11	30,22	99,6	7,65

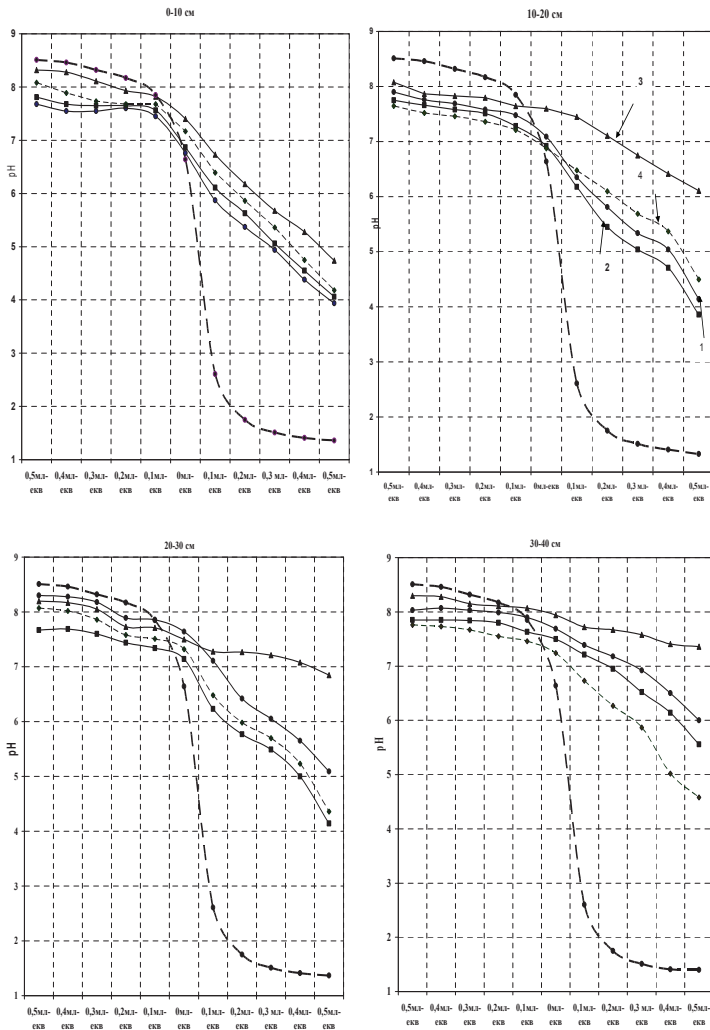


Рис. 8.1. Довгостроковий вплив способу обробітку та утримання чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового на буферну здатність при внесенні 7 т/га побічної продукції + N31P33K41 на 1 га сівозміни: 1 — оранка на 22–27 см; 2 — безполіцейвий обробіток на 22–27 см; 3 — поверхневий обробіток на 8–12 см; 4 — переліг 36 років

У цілому в гумусному горизонті вміст активної форми карбонатів при безполицевих обробітках був вищим, ніж при оранці 1,5–1,6 раза, а в абсолютному виразі вміст становив 0,17–0,19 %.

Повне повернення і загортання подрібненої органічної маси побічної продукції в ґрунті сприяє накопиченню активних карбонатів, кількість яких залежить від способу обробітку та локалізації при заробці.

Запаси при безполицевому обробітку становлять — 25–27 т/га, що вище у 4–5 разів порівняно з оранкою та глибоким безполицевим обробітком. Постійна наявність карбонатів кальцію в гумусному горизонті впливає на фізико-хімічні властивості останнього, що характеризується значенням активної кислотності ($pH_{cl}=6,97$) та значенням гідролітичної кислотності: $r=0,27$ мг-екв. на 100 г ґрунту.

При поверхневій заробці рослинної маси побічної продукції відтворюється природний прорядок повернення активної форми кальцію в ґрунт: забезпечується рівноважне протікання двох взаємопов'язаних процесів у ґрунті — власне гуміфікації побічної продукції та кореневої маси з утворенням гумусових кислот, які здатні осаджува-

Таблиця 8.9. Довгостроковий вплив способів обробітку чорнозему типового малогумусного на фізико-хімічні властивості 0–40 см шару ґрунту 7 т/га побічної продукції + $N_{31}P_{33}K_{41}$ кг. д. р. (Драбівське дослідне поле), 2010–2012 рр.

Потужність шару ґрунту, см	Кислотність		Сума увібраних основ	Гідролітична кислотність	Місткість катіонного обміну	Ступінь насиченості основами, %	Реакційна здатність гумусу за Лактіоновим (ПРЗГ)
	pH _в	pH _{сл}					
	мг-екв. /100 г						
Оранка на 22–25 см							
0–20	6,45	5,89	25,91	1,81	26,71	97,0	6,04
20-40	6,61	6,07	26,33	1,20	26,51	99,0	6,55
Безполицевий обробіток на 22–25 см							
0–20	6,48	5,58	24,65	1,35	26,42	93,3	5,63
20-40	6,95	6,43	25,11	0,95	25,92	97,0	6,11
Поверхневий обробіток на 8–12 см							
0–20	7,08	6,67	31,01	0,44	30,26	98,6	7,03
20-40	7,67	7,27	30,11	0,11	30,22	99,6	7,65

тися Са, і повної мінералізації органічної маси побічної продукції, тобто утворення бікарбонатів Са, частина яких зв'язується до гуматів Са, а інша, надлишкова частина, мігрує вглиб у формі $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, накопичуючись у верхній частині гумусованого горизонту у формі CaCO_3 . Утворення карбонатів та ефект рециркуляційного вапнування в агроценозах сівозмін визначається величиною та постійністю у часі надходження побічної продукції в ґрунт в агроценозах сівозмін з поверхневою їхньою заробкою в ґрунт.

У виробничих агроценозах сівозмін різного типу та господарсько-го призначення можна забезпечити щорічне рециркуляційне вапнування кожного поля при істотному зниженні затрат і собівартості вирощеної продукції, про що свідчить посилення буферної здатності оброблюваного шару чорноземів проти підкислення, покращення фізико-хімічних показників ґрунту та зростання врожайності основних сільськогосподарських культур.

Отже, використання кореневої маси та побічної продукції (солами зернових, стебел кукурудзи, соняшнику, проса, сої, ріпаку та інших культур), пожнивних і поукісних решток у якості біологічного меліоранта, вміст Са в якому при дозріванні сільськогосподарських культур перевищує вміст в основній продукції, при поверненні в ґрунт на місці вирощування дає змогу здійснювати щорічне біологічне вапнування ґрунтів чорноземного типу. Поверхнева заробка подрібненої рослинної маси більшою мірою прискорює вивільнення активного кальцію та відтворює природний порядок його надходження в ґрунт в агроценозах сівозмін різного типу; забезпечується одночасна рівноважна гуміфікація побічної продукції та кореневої маси і її мінералізація з утворенням бікарбонатів Са, надлишкова частина яких, через бікарбонат кальцію накопичується у верхній частині гумусованого горизонту у формі CaCO_3 .

8.3. Підсилення залишкових морфологічних ознак чорноземів типових в агроценозах

Систематичне застосування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, в основі яких лежить обробіток чорноземів типових без обертання скиби з мульчуванням поверхні ґрунту пожнивними рештками, відкриває можливість розширеного відтворення родючості чорноземів типових в умовах Лівобережного Лісостепу України завдяки посиленню процесів ґрунтоутворення в

агроценозах [65, 112, 113, 116, 129, 381, 442, 453, 454]. Характер ґрунтової поверхні чорноземів, в силу постійного контакту з атмосферою, є важливою морфологічною ознакою, яка відображає внутрішню побудову чорнозему [357, 358]. Полігональне розтріскування поверхні ґрунту є універсальною ознакою і пов'язано з загальними фізичними закономірностями ліквідації надлишкової напруги, що виникає в ґрунті при зміні об'єму в зв'язку з набряканням-зсіданням [414] і визначається структурним і гумусним станом, ступенем розвитку і характером рослинного покриву, кліматичними умовами і рівнем зволоженості поверхневих шарів чорнозему.

При систематичному виконанні оранки на 22–32 см поверхня чорнозему слабо вкрита (до 1–3 %) пожнивними рештками, має слабо хвилястий грудкуватий характер із значними домішками пилових часток, а при підсиханні стає корково-грудкуватою. За довгострокового застосування оранки утворюється тріщинувата поверхня внаслідок руйнування зернистої або мілкогрудкуватої структури. При пересиханні поверхні чорнозему влітку утворюються тріщини товщиною 5–15 мм, а іноді до 25–35 мм, в які вільно може пройти долоня руки на глибину до 20–30 см, а глибина тріщин досягає до 60–70 см. Розмір полігональних площин, на які розривається поверхня ґрунту досягає від 0,5–1 м² до 1,5–2 м² і більше.

При виконанні безполицевого обробітку поверхня ґрунту вкрита пожнивними рештками від 12–15 % при різноглибинному безполицевому обробітку на 22–32 см і 22–25 см до 35–65 % при мілкому та мінімальному безполицевому обробітках на 5–12 см. Це суттєво впливає на характер поверхні чорнозему, яка стає мілко грудкувато-зернистою. Якщо при оранці поверхня запливає, то при безполицевому обробітку у зволоженому стані добре видно структурні окремість розміром 0,5–1 мм, які мають високу водостійкість. Полігональна тріщинуватість слабовиражена. При зволоженні літніми опадами тріщини швидко злипаються і зникають. При підсиханні поверхні чорнозему проявляється ефект само мульчування. Між характером поверхні чорнозему при різних способах обробітку і внутрішньою побудовою ґрунтової товщі існує органічний зв'язок. Поверхня ґрунту відображає її внутрішню організацію.

За період досліджень (1989–2012 роки) в умовах Лівобережного Лісостепу України було обстежено 25 розрізів (14 в умовах південної частини Лівобережного Лісостепу та 11 в центральній частині Лівобережного Лісостепу).

бережного Лісостепу України), в яких виявлено комплекс спільних морфологічних змін від довгострокового застосування різних способів обробітку ґрунту. Довгостроковий вплив різних способів обробітку на зміну морфологічних ознак чорнозему показано на прикладі чорноземів типових малогумусних (див. кольор. обкладинку).

При виконанні систематичної оранки гумусний горизонт ($H_{0-41\text{ см}}$) розділяється на $H_{\text{орн.}}$ (0–32 см) та $H_{\text{п/орн.}}$ (32–41 см). У горизонті $H_{\text{орн.}}$ проявляється слабовиражена диференціація ґрунту за структурним складом, будовою та складенням. Верхня частина орного шару (0–17 см) темно-сірого кольору, свіжа, пилювато-зернисто-грудкувата, ущільнена. Поверхня структурних окремостей губчата, мілкошпарувата. Великі за розміром грудки (10–15 см) в сухому стані дуже міцні, з великим зусиллям розпадаються на більш мілкі фракції структурних окремостей. Пронизаний тріщинами 3–5 мм, які мають різно направлену спрямованість, корені нарастають вглиб гумусного горизонту.

Перехід до шару ґрунту 18–25 см помітний по складенню, структурі і побудові, слабовиражений. Шар ґрунту 18–25 см темно-сірий, свіжий, дещо ущільнений. Великі за розміром структурні окремості мають нечітко виражені ребра. Поверхня окремостей губчата з слабким глянцем у зволоженому стані, слабовиражена міжагрегатна шпаруватість. Насичений коренями, які спрямовані вглиб гумусного горизонту. Перехід до шару 26–32 см помітний по структурі, звоженню, слабопомітний.

Шар ґрунту 26–32 см зернисто-пилювато-мілкогрудкуватий. У зволоженому стані злитий, а в сухому — порошисто-пилюватий. Перехід до шару ґрунту 33–41 см добре виражений. Норм. і Нп/орн. розділені суцільною горизонтальною слабохвилястою тріщиною товщиною 2–3 мм. $H_{\text{п/орн.}}$ — темно-сірий, свіжий, рихлого складення. Зусиллям руки великі грудки легко руйнуються на зернисті окремості. Нижня частина шару ґрунту більш оструктурена.

Систематичне виконання різноглибинного безполицевого обробітку на 22 — 32 см та 22–25 см змінює будову гумусового горизонту (Н), в якому візуально виділяються шари ґрунту: 0–5 см, 5–15 см, 15–33 см та 33–42 см.

Шар ґрунту 0–5 см темно-сірий, свіжий, пухкий, дрібногрудкувато-пилюватий; насичений живими, напіврозкладеними коренями та органічними рештками добре виражена міжагрегатна та агрегат-

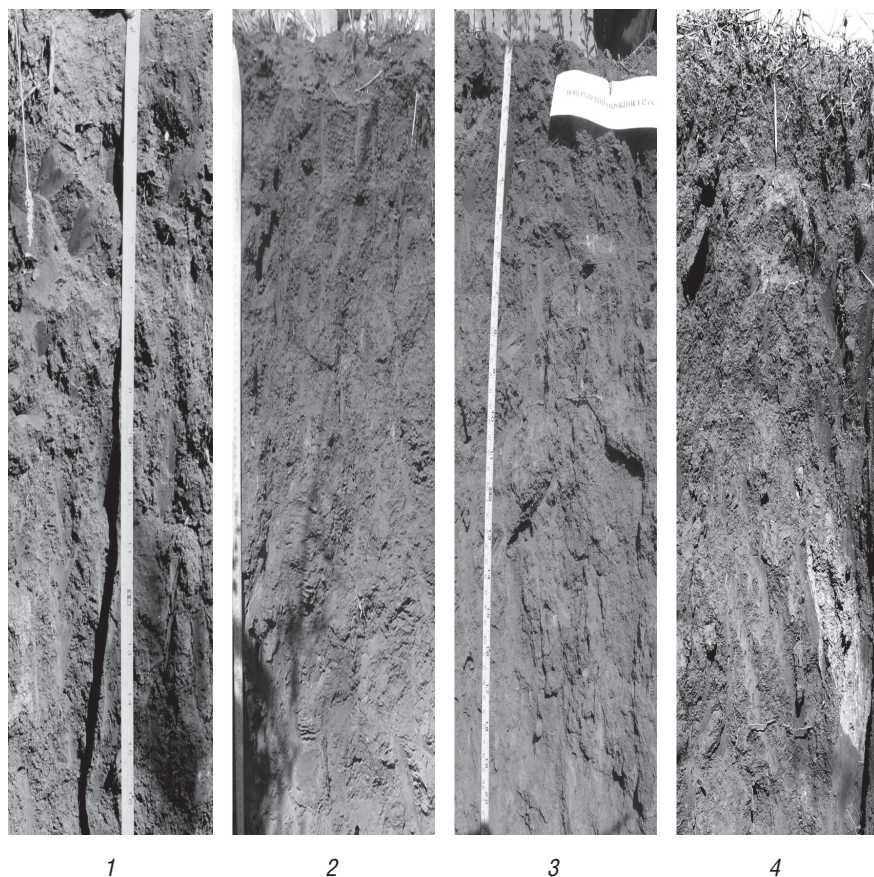


Рис. 8.2. Довгостроковий вплив різних способів обробки ґрунту та утримання чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового на зміну морфологічних ознак в 5-пільній зерно-просапній сівозміні (60% — зернові; 20% — технічні; 20% — зернобобові): 1 — оранка на 22–25 см; 2 — безпліцевий на 22–25 см; 3 — поверхневий обробіток на 10–12 см; 4 — переліг 36 років

на шпаруватість. Перехід до шару 5–15 см помітний за зложенням, структурою. Шар ґрунту 5–15 см свіжий, темно-сірий, пилувато-дрібногрудкувато-зернистий. Великі грудки під зусиллям руки розпадаються на структурні окремістості, добре виражена агрегатна та

міжагрегатна шпаруватість. Структурні агрегати мають чітко виражені ребра та мілко шпаруваті грані. Ущільнений, злитість відсутня. Густо насичений тонкими коренями. Перехід до шару ґрунту 15–32 см поступовий, помітний за структурою і зложенням. Шар ґрунту 15–32 см свіжий, темно-сірий пилювато-зернисто-дрібногрудкуватий з добре вираженою агрегатною та міжагрегатною шпаруватістю. Добре насичений коренями, трапляються ходи черв'яків, копроліти. Під зусиллям руки легко руйнується на окремість правильної форми. Горизонтальна тріщина, яка розділяє Нобр. та Нп/орн утратила суцільність, з'явилися розриви через 3–4 см, товщина тріщини 1–2 мм. Перехід до необроблюваної частини гумусного горизонту менш помітний, ніж при оранці, помітний за зложенням і структурою. Н_{п/орн}. (33–42 см) — темно-сірий, свіжий, пухкий, зернисто-грудкуватий. У верхній частині слабкопомітні ознаки орної підшви, слабко помітна порошистість у сухому стані. Агрегатна та міжагрегатна шпаруватість виражена добре. Добре насичений коренями. Трапляються ходи дощових черв'яків з копролітами.

Систематичне виконання безполицевого обробітку на 10–12 см посилює диференціацію гумусового горизонту на шари ґрунту аналогічно глибокому безполицевому обробітку. Шар ґрунту 0–5 см добре насичений органічними рештками всіх стадій розкладу, багато живих і напіврозкладених коренів; свіжий темно-сірий, пухкий, дрібнозернисто-дрібногрудкуватий, часто трапляються копроліти дощових черв'яків. Перехід до шару ґрунту 5–15 см помітний за будовою, зложенням й структурою. Шар ґрунту 5–15 см зволожений, насичено темно-сірий, пухкий, дрібногрудкувато-зернистий, часто трапляються ходи дощових черв'яків та копролітів; агрегатна та міжагрегатна шпаруватість добре виражена; в сухому стані шар ґрунту дрібношпарутий, а у вологому стані структурні окремість мають добре виражені ребра; грані структурних окремістей мають гляцевий блиск від наявності гуматної плівки. Упаковка агрегатів компактна, злитість шару відсутня; у сухому стані великі грудки легко розпадаються на окремість правильної форми однакового розміру. Насиченість коренями висока, які наростають за типом дернини. Перехід до шару 15–33 см поступовий, менше виражений, ніж у попередніх розрізах. Діагностується за структурою, складенням, будовою.

Шар ґрунту 15–33 см має побудову й ознаки аналогічні варіанту глибокого безполицевого обробітку. Добре виражені ознаки

біогенності — виражена переритість дощовими черв'яками, більша кількість копролітів. Нижня частина (25–33 см) шару ґрунту більш оструктурена, ознак плужної підшови не виявлено. Горизонтальна тріщина, яка розділяла $H_{\text{орн.}}$ і $H_{\text{п/орн.}}$ стала ще більш переривистою і тонкою. Злитість мікрофрагментарна, майже непомітна. Перехід до шару ґрунту 33–42 см слабпомітний, діагностується за складенням і структурою. Перехід до горизонту $H_{\text{рк}}$ поступовий, слабковиражений, помітний за зложенням, структурою, кольором.

Зменшення глибини обробітку чорнозему до 5–6 см сприяє підсиленню залишкових ознак природного ґрунтоутворення у гумусовому горизонті. Шар ґрунту 0–5 см містить велику кількість органічних решток різних стадій розкладу, свіжий. Трапляються копроліти та інші виділення ґрунтової мезофауни. Велика кількість живих коренів. Пухкий, зернисто-дрібногрудкуватий. Добре виражена міжагрегатна шпаруватість. Перехід до шару 5–15 см помітний за зложенням. Шар ґрунту 5–15 см темно-сірий, вологий, ущільнений, грудкувато-зернистої структури. Упаковка структурних агрегатів компактна. Великі за розміром грудки під зусиллям руки легко розпадаються на структурні агрегати правильної форми з чітко вираженими ребрами та гранями. Добре насичений коренями, які розгалужуються в горизонтальному напрямку. Велика кількість червоточин з копролітами. Злитість відсутня. Перехід до шару 15–25 см поступовий. Помітний за зложенням і структурою. Шар ґрунту 15–25 см темно-сірий, вологий, ущільнений, дрібнозернисто-грудкуватий. Структурні окремість мають практично однаковий розмір, ребра яких загострені, а грані мають дрібношпарувату текстуру. Добре насичений коренями, які спрямовані вглиб гумусового горизонту. Дрібнотріщинуватий, тріщини мають різнонаправлений характер. Пронизаний червоточинами вертикальної та горизонтальної орієнтацій. Велика кількість копролітів. Перехід до шару ґрунту 25–41 см поступовий, помітний за структурою, зложенням.

Шар ґрунту 25–41 см темно-сірий, свіжий, пухкий, зернисто-грудкуватої структури. Горизонтальна тріщина від плужної підшови відсутня, а оструктуреність усього шару ґрунту вирівняна. Виражена агрегатна і міжагрегатна шпаруватість. Великі грудки від зусилля руки легко розпадаються на окремість зернистого характеру розміром 1–5 мм. Насичення коренями високе, багато напіврозкладених залишків кореневих систем. Трапляються черворойни з копролітами.

За утримання перелогу впродовж 10–36 років проявляє дію природний процес ґрунтоутворення, що реалізується у будові ґрунтового профілю чорнозему типового. Проявляється слабопомітна диференціація в гумусовому горизонті: можна виділити шари ґрунту 0–2 см, 2–12, 12–25, 25–43 см.

$\text{Nd}_{(0-2-4 \text{ см})}$ — слаборозвинена дернина (повсть) з органічних решток природної злакової рослинності різного ступеню розкладу, змішана з ґрунтовими частками. Перехід до шару ґрунту 2–12 см виражений за зложенням, структурою, щільністю.

$\text{H}_{(2-12 \text{ см})}$ — темно-сірий, свіжий, пухкий, зернисто-дрібногрудкуватий. У зволоженому стані структурні окремості мають характерний глянцеви́й блиск, а при висиханні — матову поверхню. Окремості правильної форми з чіткими гранями та ребрами. Великі грудки під зусиллям руки легко розпадаються на структурні окремості практично однакового розміру і мають пухку побудову. Насиченість коренями висока. Часто трапляються червоточини з великою кількістю копролітів. Надмірно виражена міжагрегатна шпаруватість. Велика кількість напіврозкладених кореневих решток. Перехід до шару 12–25 см слабопомітний за зложенням і структурою.

Шар ґрунту 12–25 см свіжий, темно-сірий, дещо ущільнений. Упаковка структурних окремоностей компактна, зернисто-дрібногрудкувата структура, дрібнотріщинуватий, шпарини мають різнобічну спрямованість. Добре виражена агрегатна та міжагрегатна шпаруватість, але в меншій мірі, ніж у шарі 2–12 см. Щільність шару ґрунту суттєво менша, ніж на варіантах мінімального обробітку на 5–12 см. Насиченість коренями висока. Спрямованість наростання коренів — вглиб гумусового горизонту. Часто зустрічаються червороїни з копролітами. Перехід до шару ґрунту 25–43 см слабопомітний за зложенням та структурою.

Шар ґрунту 25–43 см темно-сірий, свіжий, пухкий, добре оструктурений, зернисто-дрібногрудкуватий по всій товщі шару. Ознаки злитості та плужної підшви від довгострокової оранки відсутні. Добре виражена міжагрегатна шпаруватість. Насиченість коренями висока. Утворюються кореневі розгалуження (“бороди”), на яких начеплена велика кількість водостійких агрегатів розміром 0,5–1 мм та меншого розміру. Велика кількість червороїн з копролітами. Перехід до Нрк горизонту поступовий, слабопомітний за структурою, зложенням та кольором.

На всіх варіантах обробітку ґрунту і довгостроковому перелозі перехід до горизонту H_{rk} поступовий, потужність перехідного горизонту змінювалась від 38–39 см оранки та глибокого безполицевого обробітку до 39–43 см за мінімального безполицевого обробітку на 5–12 см та перелозі по верхній межі. Нижня межа горизонту змінювалась від 69–71 до 70–74 см відповідно.

H_{rk} (38–43÷69–74) вологий, темно-сірий з буризною. У верхній частині горизонт великогрудкувато-зернистий, а у нижній — наростає грудкуватість і призматичність, ущільнений. При ґрунтозахисних технологіях горизонт має більш темне забарвлення та більш високу оструктуреність у нижній частині. Велика кількість червороїн з копролітами та слідами діяльності ґрунтової мезофауни. Коріння трапляється часто. При оранці та глибокому безполицевому обробітку коріння спрямоване вглиб профілю, а при безполицевому обробітку на 5–12 см коріння має ознаку галуження у нижній частині горизонту. Перехід до горизонту Ph_k на всіх варіантах у досліді поступовий, помітний за кольором, складенням, структурою.

Ph_k (71–73÷115–120 см) — брудно-буропалевий, свіжий, грудкувато-призматичний, ущільнений, велика кількість червороїн з копролітами дощових черв'яків. На варіантах з безполицевим обробітком забарвлення горизонту темніше, ніж при оранці і наростає при мінімізації обробітку чорнозему. Помітна язиковатість від затьоків гумусу. Підсилюється оструктуреність у нижній частині горизонту. Перехід до горизонту $P(h_k)$ помітний за забарвленням, складенням, структурою.

$P(h_k)$ — (116–127÷170–175 см) брудно-бурий з палевим відтінком, при оранці та глибокому безполицевому обробітку свіжий, а при мінімізації обробітку вологий. Відповідно наростає плямистість, підсилюється язиковатість горизонту від затьоків гумусу. Переритість мезофауною висока. За мінімального безполицевого обробітку менш ущільнений та більш оструктурений — структура грудкувато-призматична. Перехід до горизонту P_k поступовий, помітний за кольором.

P_k (170–175÷195–200 см і нижче) — буро-палевий карбонатний лес. Верхня частина горизонту має слабовиражену язиковатість, яка з глибиною зникає. За мінімального безполицевого обробітку затьоки гумусу більш глибокі.

Дослідження [19] вказують на те, що в умовах оранки формується тип агрегатності, який характерний для малоперегнійних ґрунтів і го-

ризонтів, і в складі якого переважають мікроскопічні фракції агрегатів ($<0,05$ мм) у кількості до 60 % і більше. За такої умови найбільш оптимальне співвідношення пилюватих, мулуватих і глинистих фракцій у ґрунтовій масі не забезпечує умови формування агрономічно цінної структури через відсутності достатньої кількості новоутвореного гумусу. Як наслідок, формується грудкувато-щільна побудова ґрунтового тіла чорнозему на різних ієрархічних рівнях, що є свідченням агрофізичної деградації чорнозему в умовах систематичної оранки. В умовах систематичної оранки структурні окремості не мають гуматної плівки, яка надає високої водостійкості структурним агрегатам. Від цього зростає рельєфність і деформованість структурних агрегатів, які містять велику кількість не агрегованого матеріалу — часток $<0,25$ і мікроагрегатів $0,01\text{--}0,05$ мм, що підвищує їхню активну поверхню і швидкість зближення.

При систематичному виконанні безполицевого обробітку умови формування структурних окремоностей і агрегатів змінюються: у формування агрегатів низького порядку долучаються мікроагрегати розміром $0,01\text{--}0,05$ мм, кількість яких перевищує їх вміст при оранці на 15–25 %. Під впливом новоутворених гумусових речовин, яких в умовах безполицевого обробітку утворюється більше на 15–20 %, і детриту, якого також утворюється більше на 25–30 % у порівнянні з оранкою. Структурні агрегати вкриваються гуматною плівкою, за рахунок якої нейтралізується поверхнева енергія агрегатів, підвищується їхня водостійкість і механічна міцність. Формується грудкувато-пухка побудова великих за розміром окремоностей. Процес трансформації грудкувато-щільної побудови окремоностей різної ієрархії в грудкувато-пухку побудову під впливом безполицевого обробітку є ознакою припинення агрофізичної деградації, відтворення родючості та посилення процесів ґрунтоутворення чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу.

Морфологічні дослідження показали, що за 10–36 років виконання безполицевого обробітку на 5–12 см відбулося потемніння горизонтів RH_k і Ph_k , а горизонт Ph_k набув вираженої язикуватості від затьоків гумусу, які проникають у горизонт $P(h_k)$. Між вмістом гумусу в гумусованому горизонті, значенням ГТК за Селяніновим за теплий період року, потужністю гумусованого горизонту (см) та вмістом ФГ (%) існує множинний регресійний зв'язок ($R=+0,96\pm0,03$). При рівних значеннях ГТК додаткові 10 мм засвоєної вологи холодного

періоду року призводить до зростання запасу загального гумусу в межах ≈ 30 т/га за рахунок збільшення грубизни гумусованого горизонту. Параметри накопичення гумусу збільшуються на одиницю ГТК у фаціальному аспекті за рахунок зростання засвоюваності опадів [331, 332, 334]. Дослідження показують, що при систематичному застосуванні ґрунтозахисних технологій вологонакопичувальний ефект опадів холодного періоду року становить 25–30 мм продуктивної вологи, а економність її витрати за теплий період року вища на 25–30 % у порівнянні з виконанням систематичної оранки.

Отже, зволожена частина Лісостепу України, до якої відносяться чорноземи типові середньогумусні південної частини Лівобережного Лісостепу, мають значення ГТК=0,90–1,10, а тому в залежності від застосованої системи землеробства загальноприродний механізм гумусонакопичення в агроценозі може змішуватись, як у сторону ґрунтоутворення добре зволоженої частини чорноземів (при підвищенні ступеня гідроморфізму ґрунтової товщі чорнозему і підвищенні вологонакопичувального ефекту від застосування ґрунтозахисних технологій), так і в сторону недостатньо зволжених чорноземів північного Степу (при систематичному застосуванні оранки та посиленні аридності ґрунтових умов), що сприятиме посиленню ксероморфності плакорних зволжених чорноземів Лівобережного Лісостепу.

8.4. Вторинне окарбоначування чорноземів типових Лівобережного Лісостепу в агроценозах

Характер формування карбонатного профілю, карбонатних новоутворень і випотів, визначається сукупністю комплексу факторів: концентрацією ґрунтового розчину, парціальним тиском CO_2 у ґрунтовому повітрі, сезонною динамікою зволоженості й інтенсивністю випаровування вологи у ґрунтовому профілі та характером висушування ґрунтової товщі за теплий період року.

В умовах південного Лівобережного Лісостепу за систематичного виконання оранки лінія скипання карбонатів була на глибині 55–60 см від поверхні ґрунту. До глибини 80–85 см переважала форма карбонатів у вигляді кальциту-люблініту, яка з глибиною замінювалась зоною нальотів, які вкривали щільною кіркою поверхню ґрунтових окремоностей. У нижній частині цього шару трапляються трубочки й утворення зернистого кальциту. З глибиною (85–135 см) співвідношення між зернистою і голчатою формою карбонатів вирівнювалось,

а з глибини 110–135 см переважали карбонати у формі мікрозернистого кальциту. Гольчастий кальцит-люблінит виявлено по червороїнам і кротовинам. Глибше 135 см збільшувалась кількість стійких форм карбонату.

За умови систематичного глибокого безполицевого обробітку на 22–32 см карбонатний профіль аналогічний профілю при оранці, але лінія скипання знаходиться на висоті 45–55 см від поверхні чорнозему. Зона новоутворених карбонатів становить 40–60 см, а максимальна кількість карбонатів зосереджена у товщі 70–130 см. Співвідношення новоутворених карбонатів до стійких форм схиляється у бік новоутворених. Нижче глибини 130 см карбонати у мікрозернистій формі, скипання бурне, насичення карбонатами високе.

Систематичне виконання безполицевого обробітку на 10–12 см змінює характер карбонатного профілю. Лінія скипання карбонатів підтягнута до 30–35 см від поверхні ґрунту, а в чорноземах типових малогумусних до 15–24 см. Має рівний і чіткий характер. У шарі 25–30 см слабе потріскування, а з глибини 35 см скипання карбонатів бурхливе.

Лінія скипання карбонатів розділяє профіль на дві частини — вище лінії скипання має темно-сіре забарвлення, а нижче до глибини 95 см сивує забарвлення від великої кількості новоутворених карбонатів у вигляді кальциту—люблініту, насичення якими дуже високе, а скипання бурхливе. У товщі ґрунту 95–115 см карбонати знаходяться у формі зернистого кальциту і кальциту-люблініту. Нижче 115 см карбонати у сталій формі, але по червороїнам та кротовинам значно більше карбонатів у формі кальциту-люблініту. Скипання бурхливе, насичення карбонатами високе.

Аналогічна закономірність виявлена на чорноземах типових середньогумусних середньосуглинкових в умовах систематичного виконання безполицевого обробітку на 5–6 см упродовж 25 років: лінія скипання CaCO_3 знаходилася на глибині 23–25 см від поверхні ґрунту, а за систематичної оранки на глибині 55–60 см. Уміст CaCO_3 у товщі 100–200 см за систематичної оранки був істотно вищим у порівнянні з мінімальним безполицевим обробітком.

Вивчення перерозподілу CaCO_3 у профілі чорноземів типових легкого гранулометричного складу де впродовж 36 років виконувались різні способи обробітку показало, що під впливом поверхневого обробітку відбувається активізація карбонатів. Лінія скипання CaCO_3

підтягнулася на висоту 15–25 см від поверхні. За безполицевого обробітку на висоту 40–45 см від поверхні, а за систематичної оранки 65–95 см і при утриманні перелогу — 45–55 см. В цілому в умовах Лівобережного Лісостепу України систематичне застосування поверхневого обробітку впродовж 10–36 років сприяє розвитку процесу регенерації деградованих чорноземів в агроценозах сівозмін.

Систематичне виконання різних систем обробітку чорнозему в агроценозі змінює агрофізичний стан [4, 65, 173, 252, 267, 268, 272, 367] гумусованого горизонту, що в кінцевому змінює гідротермічні умови ґрунтового профілю у сезонному та річному циклах, що пов'язано з характером промочування ґрунтової товщі весною та із характером висушування ґрунтового профілю протягом теплого періоду року. Підвищення ступеня гідроморфізму чорнозему як автоморфної системи, в умовах безполицевого обробітку, сприяє підвищенню біогенності ґрунтової товщі. В умовах підвищеної біогенності ґрунтової товщі енергетично знецінене CO_2 (продукт дихання коренів і мікроорганізмів) у процесі гідролізу перетворюється в агресивну форму вугільної кислоти [328, 329], яка здатна розчиняти фосфати, карбонати, витіснити основи з ґрунтового вбирного комплексу. Підвищення біогенності ґрунтової товщі чорнозему сприяє виділенню CO_2 “живою” речовиною ґрунту, а в умовах оранки вуглекислота утворюється, у більшій мірі, за рахунок розкладу сталих форм карбонатів ґрунтоутворювальної породи. Систематична оранка, більшою мірою, а глибокий безполицевий обробіток, меншою мірою, сприяють аридизації умов ґрунтового середовища, а тому в ґрунтовому профілі більше утворюється стійких форм карбонатів. Зменшення глибини обробітку ґрунту до 5–12 см сприяє підтриманню вологості в ґрунтовому профілі у діапазоні ВРК–ВЗ, що стимулює утворення карбонатів у формі кальциту-люблініту, які мають підвищену рухомість. В умовах систематичного мілкового безполицевого обробітку найбільш біогенно активною є товща чорнозему 35–120 см [7, 8, 242, 335, 471, 472].

В табл. 8.10 представлено запаси CaCO_3 в чорноземах Лівобережного Лісостепу України залежно від способу обробітку ґрунту.

Виявлено, що за безполицевого обробітку на 10–12 см у 0–100 см товщі чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого запаси карбонатів по відношенню до варіанта систематичної оранки та глибокого безполицевого обробітку підвищувалися у 1,36–1,41 раза,

Таблиця 8.10. Довгостроковий вплив способу обробітку та утримання на запаси CaCO_3 в ґрунтовій товщі чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України

Потужність шару ґрунту, см	Запаси СаСО ₃ , т/га				НСР _{0,5} , т/га
	Оранка на 22-27 см	Безполицевий обробіток на:		Переліг 10-36 років	
		22-27 см	8-12 см		
Чорнозем типовий середньогумусний легкоглинистий (10 років у стаціонарному досліді)*					
0-30	—	—	25,0	—	
0-50	—	18,0	119	10,0	25,0
0-100	330	320	450	385	70,0
0-150	690	725	675	698	35,0
0-200	1710	1770	1800	1783	93,0
Чорнозем типовий середньогумусний середньосуглинкавий (25 років у виробництві)**					
0-30	—	—	6,0	—	
0-50	5	—	33	—	19,0
0-100	152	—	208	—	25,0
0-150	400	—	445	—	35,0
Чорнозем типовий малогу́мусний легкосуглинкавий (35-36 років у стаціонарному досліді)***					
0-30	—	—	15,0	—	
0-50	—	5,0	33	5,0	15,0
0-100	152	155	208	176	25,0
0-150	395	398	445	428	35,0

* Південна частина Лівобережного Лісостепу України (Карлівський район).

** Центральна частина Лівобережного Лісостепу України (Шишацький район).

*** Центральна частина Лівобережного Лісостепу України (Драбівський район).

а в шарі ґрунту 0-30 см містилося CaCO_3 близько 25 т/га. У товщі 0-150 см найвищі запаси карбонатів були за глибокого безполицевого обробітку: порівняно з оранкою — на 35 т/га, а порівняно до поверхневого обробітку — на 50 т/га. В умовах поверхневого обробітку відбувається накопичення карбонатів у метровій товщі чорнозему, що свідчить про підсилення біогенності ґрунтових умов у ґрунтовій товщі чорнозему типового. В ґрунтовій товщі 0-200 см за глибокого та мілко́го безполицевого обробітків запаси карбонатів були вищими

на 60 та 90 т/га. Їх надлишок слід віднести на рахунок прояву процесу вторинного окарбоначування товщі чорноземів в умовах підвищеного гідроморфізму.

Дослідженнями [*] кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів (НУБіП) та дослідженнями О.В. Демиденка [**] встановлено, що довгострокове виконання безполицевого обробітку на 5–12 см у виробництві (Шишакський район Полтавської області) запас CaCO_3 в метровій товщі чорнозему типового середньогумусного зріс на 56 т/га; в півтораметровій товщі — на 45 т/га, а в товщі 0–50 см запаси карбонатів відносно запасу за систематичної оранки були вищими на 28 т/га. Незначна кількість CaCO_3 була наявна в 0–30 см шарі чорнозему, тоді як за оранки карбонати були відсутні.

Аналогічна закономірність виявлена на чорноземах типових легкого гранулометричного складу: запаси CaCO_3 в метровій товщі при поверхневому обробітку були вищими на 53 та 56 т/га відносно оранки та безполицевого обробітку, а в півтораметровій товщі — 45–47 т/га. За систематичного обробітку впродовж 36 років в півметровому шарі чорнозему запаси карбонатів були більшими на 33 т/га (відносно оранки) та 28 т/га відносно безполицевого обробітку, а в 0–30 см шарі ґрунту запаси карбонатів становили 15 т/га.

Отже, при виміленні обробітку чорноземів до 10–12 см довершена, в агрофізичному розумінні, побудова гумусованого горизонту сприяє оптимізації режиму зволоженості у сезонному та річному циклах, а наявність на поверхні поля шару мульчі сприяє зниженню інтенсивності прогрівання ґрунтової товщі у теплий період року і знижує на 25–30 % інтенсивність випаровування порівняно з оранкою. Поступове прогрівання ґрунтової товщі сприяє тому, що волога в ґрунті знаходиться у стані капілярної цілісності у часі довше, ніж за інтенсивного випаровування в умовах оранки. Розчинені гідрокарбонати кальцію підтягуються до поверхні ґрунту, де і викристалізуються у вигляді псевдоміцелію. В умовах оранки, при наростанні деградаційних процесів (агрофізична деградація та дегуміфікація),

* Бикова О.Е., Майстренко В.Г., Зміна елементів родючості чорнозему типового при ґрунтозахисному землеробстві // Науковий вісник НАУ/ Ред. Д.О. Мельничук. — К. — Вип. 81. — 2005. — С. 45–49.

** Демиденко О.В. Спосіб вторинного окарбоначування ґрунтів в агроценозах // Патент № 82807. Пріоритет від 12.05.2008 р.

підсилюється посушливість (аридність) ґрунтових умов, що сприяє утворенню стійких форм карбонатів.

8.4.1. Теоретичне обґрунтування вторинного окарбоначування чорноземів типових в агроценозах. В умовах інтенсивного обробітку на деградованих чорноземах Лівобережного Лісостепу погіршуються кількісні показники зволоження та істотно збільшується товща активного вологообігу, який зміщується на травень—липень і зумовлює глибоке літнє висушування ґрунтової товщі. Контрастність гідротермічного режиму та наростання ксероморфності ґрунтових умов оброблюваних ґрунтів знижують ґрунтовідновну активність культур сівозмін і збільшують паузи у діяльності ґрунтової мезофауни та мікроорганізмів, що є основною причиною вкорочення гумусованого горизонту за рахунок посилення процесів мінералізації при значній акумуляції гумусу у верхній частині ґрунтового профілю. Відбувається остепніння ґрунтоутворення чорноземів більш північних фацій у агроценозах.

Перед землеробами ставиться завдання за допомогою спеціальних технологічних операцій по обробітку ґрунту, заробкою органічних, мінеральних добрив, поукісних решток і частини побічної продукції від попередньої культури на глибину 10—12 см з одночасним мульчуванням поверхні поля нетоварною частиною врожаю, активізуючи при цьому діяльність ґрунтового біорізномайття та активність діяльності кореневих систем культур агроценозу, знешкодити вказані вище наслідки систематичної оранки.

Поставлене завдання досягається тим, що за вторинного окарбоначування чорноземів типових в агроценозах відновлюється ґрунтоутворення і моделюються гідротермічні умови перетворення стійких форм ґрунтових карбонатів на легкорухомі і відбувається збагачення товщі чорноземів типових їх новоутвореними формами під впливом систематичного безполицевого обробітку ґрунту з заробкою органічних і мінеральних добрив на глибину до 10—12 см з мульчуванням поверхні поля післязливними рештками і нетоварною часткою врожаю. Ґрунтоутворення в агроценозах різноротаційних сівозмін Лівобережного Лісостепу України забезпечується розмахом оптимального вологонасичення і постійності перебування чорноземів у термодинамічному стані, що визначає максимальну амплітуду напівперіоду релаксації автоколивальних і циклічних процесів у системі ґрунт—рослина—атмосфера. Такий стан чорноземів забезпечується,

коли зволоженість у товщі чорнозему не знижується до значень ВЗ і у найбільшій мірі проявляється у інтервалі: ВУР (вологість уповільненого росту) — ВРК та 75 % НВ (табл. 8.11).

Безполицевий обробіток ґрунту з мульчуванням поверхні поля поживними та поукісними рештками сприяє підвищенню гідроморфності товщі чорнозему в найпосушливіший період року, що забезпечує подовженість ПБА на 25–30 днів по відношенню як до природно-фаціальних значень, так і до ПБА в чорноземах типових, які знаходяться в стані посиленої ксероморфізації від інтенсивного обробітку (оранки) в подібних фаціальних умовах. За таких умов відбувається відновлення ґрунтоутворення в агроценозах, ознакою якого є “омолоджування” карбонатів у ґрунтовому профілі чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України.

Розчинність карбонатів у чорноземах визначається парціальним тиском CO_2 ґрунтового повітря, якісним складом ґрунтового розчину, активністю іонів Ca^{2+} та реакцією ґрунтового середовища. Висока активність кальцію у ґрунтовому розчині за безполицевого обробітку свідчить про те, що кальцій має великий запас енергії, який необхідний для переходу з обмінного стану у ґрунтовий розчин при міграції по ґрунтовому профілю. Цю здатність забезпечує депресивна концентрація вуглекислоти ґрунтового повітря та оптимальність зволоження у сезонному циклі за систематичного застосування ґрунтозахисних технологій. Вапняковий потенціал ($\text{pH} = 0,5 \text{ pCa}$) за мінімального обробітку чорноземів досягає значень $\text{pH} = 0,5 \text{ pCa} = 6,32\text{--}5,56$ проти $\text{pH} = 0,5 \text{ pCa} = 5,85\text{--}5,95$ при оранці, що забезпечує утворення розчинних форм карбонатів, за рахунок вищого запасу енергії для переходу з

Таблиця 8.11. Вплив системи обробітку на вміст (мм) та насиченість (% НВ) ґрунтовою вологою чорноземів типових Лівобережного Лісостепу у липні

Потужність шару, см	Оранка на 22–32 см*	Безполицевий обробіток на:	
		22 – 32 см	5 – 12 см
0–100	$\frac{50\text{--}130}{25\text{--}70}$	$\frac{56\text{--}140}{34\text{--}78}$	$\frac{65\text{--}150}{36\text{--}85}$
100–200	$\frac{80\text{--}130}{40\text{--}70}$	$\frac{95\text{--}145}{55\text{--}85}$	$\frac{110\text{--}150}{65\text{--}88}$

* У чисельнику — запас, мм, у знаменнику — % НВ.

обмінного стану у ґрунтовий розчин. Відбувається перекристалізація зернистого кальциту у мікрозернистий кальцит і кальцит-люблінит.

Потужність зони активізованих карбонатів у профілі чорнозему при безполицевому обробітку зростає в 2–6 разів порівняно з систематичною оранкою. Існують природні механізми, які регламентують межу розчинності карбонатного ілювію та винесення розчинених карбонатів за межі профілю чорнозему: між вмістом CO_2 в ґрунтовому повітрі (до концентрації $\approx 1,0\text{--}1,22\%$) та розчинністю CaCO_3 існує пряма кореляція. При досягненні депресивної концентрації ($1,24\text{--}1,25\%$) вуглекислоти в ґрунтовому повітрі розчинність карбонатів стабілізується і починає поступово знижуватись.

Глибина залягання карбонатів і характер карбонатних новоутворень у чорноземах відображає особливості гідротермічного режиму при виконанні різних систем обробітку. Відносно неглибоке осінньо-весняне промочування та швидке висушування гумусового профілю весною і літом в умовах інтенсивного обробітку сприяє утворенню “мертвого” горизонту і призводить до вкорочення періоду висхідних потоків вологи, перешкоджаючи утворенню міграційних форм карбонатів та зумовлюючи їхню сегрегацію у борошністі утворення з різним ступенем цементації, які локалізуються під гумусним профілем у вигляді карбонатного ілювію. При наростанні деградаційних процесів відбувається цементація карбонатного ілювію в перехідних горизонтах чорноземів.

Для вимивання розчиненої маси CaCO_3 за нижню межу гумусованого горизонту необхідною умовою є створення промивного режиму зволоження товщі чорнозему за теплий період року, але в умовах Лівобережного Лісостепу, кількість атмосферних опадів, що випадає, промочує товщу чорнозему на 50–75 см в роки з надмірним зволоженням і на 25–45 см в роки з оптимальними і посушливими умовами. Навіть при надмірній кількості опадів восени в умовах мінімального обробітку вимивання розчинених форм карбонатів відбувається не глибше щорічного весняного промочування товщі чорнозему. Весною, незалежно від системи обробітку чорнозему, відбувається рух капілярної вологи до поверхні випаровування з одночасним перенесенням розчинних форм карбонатів та їхньою викристалізацією. Залежно від інтенсивності випаровування (швидкості настання значень вологості розриву капілярних зв'язків) викристалізація карбонатів у вигляді псевдоміцелію відбувається на різній глибині від поверхні

випаровування: при оранці в нижній частині гумусованого та в гумусовому горизонті при мінімальному безполіцевому обробітку.

З явищем вторинного окарбоначування чорноземів Лівобережного Лісостепу в історичному вимірі землероби стикалися при застосуванні переложної системи землеробства, коли мілкий обробіток сохою або ралом сприяв підтягуванню карбонатів до поверхні ґрунтового профілю, що знижувало прояв ефективної родючості за рахунок карбонатного “засолення”, негативний вплив якого знімався переведенням земель у стан перелогу, а у наших дослідженнях — залуженням багаторічними злаковими травами, які на 8–10-й рік знижували лінію скипання CaCO_3 до природного рівня залягання, як і при утриманні перелогу. Однією з причин, у історичному вимірі, розробки землеробами різноглибинного обробітку була спроба подолати наслідки вторинного окарбоначування з метою посилити реалізацію прояву ефективної родючості в існуючих агроценозах з тієї причини, що мілкий обробіток сохою або ралом та малоінтенсивні сорти не могли різко за короткий час знизити рівень природної та потенціальної родючості чорноземів. Саме різноглибинний обробіток дозволяв контролювати процес карбонатного “засолення” та вирішувати ряд важливих питань прояву ефективної родючості та дозволяв не вилучати землі під утриманням у стані перелогу.

На чорноземах типових Лівобережного Лісостепу України за систематичного виконання глибокої оранки, за якої відбувається активізація вологообігу у весняно-літній період, для прояву міграційно-пульсаційного режиму карбонатів за спорадичним типом необхідною умовою є повільне наростання позитивних температур після переходу через 0°C весною та подовжений весняний період до 65–70 днів. За таких умов капілярно-підвішена волога набуває властивостей суцільності руху до поверхні випаровування в межах промочуваної товщі карбонатних горизонтів, що забезпечує підтягування розчинних карбонатів до гумусового горизонту. При наростанні посушливості клімату в останні 10 років подовженість весняного періоду становить 30–35 днів при активному наростанні суми активних температур, які у травні відповідають настанню літнього періоду, що зумовлює швидке прогрівання ґрунтової товщі чорнозему, інтенсивне випаровування вологи з неї та розриву вологи в ґрунтових капілярах. З зазначених причин міграційно-пульсаційний режим карбонатів за спорадичним типом неможливий або суттєво обмежений за щорічною повторювальністю.

Отже, за систематичного безполицевого обробітку, особливо при зменшенні глибини обробітку ґрунту, посилюється гідрогенно-аккумулятивний процес окарбоначування чорноземів, як процес вторинної аккумуляції CaCO_3 у гумусовому горизонті чорноземів типових за рахунок посилення ступеня гідроморфізму та біогенності ґрунтових умов у найпосушливіший період року. З одного боку, відбувається розчинення стійких форм карбонатів при ілювіальній аккумуляції, а з іншого, збагачення новоутвореними формами за рахунок посилення фізіологічної активності корневих систем культур в агроценозах в критичні фази вегетації та в процесі реутилізації з побічної продукції у післязбиральний період, про що свідчить наявність великої кількості інкрустаційних (нальотів, вицвітів, псевдоміцелій, примазок, прожилок) та форм виділень CaCO_3 на внутрішніх поверхнях у ґрунтової товщі чорноземів типових. Чорноземи типові набувають властивостей, які характерні для міцелярно-карбонатних чорноземів, за рахунок посилення біогенності ґрунтових умов і накопичення карбонатів *in situ* та відтворенню сезонної міграції їх по ґрунтовому профілю. У весняний період спостерігається щорічна наявність карбонатів у гумусовому горизонті, що поступово наближає чорноземи до поверхневоскипаючих. Новоутворені карбонати постійно наявні у нижній частині гумусового горизонту, що слід розцінювати як процес реградації деградованих чорноземів типових і є головною ознакою ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

САМОРЕГУЛЯЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ВІДТВОРЕННЯМ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ ТИПОВИХ В АГРОЦЕНОЗАХ

9.1. Самоорегуляція умов відтворення родючості чорноземів типових

Сучасне землеробство організоване з порушенням системних принципів, а тому екологічна криза закладена у концептуальній суті його класичної парадигми. Ґрунтозахисне землеробство (ГЗ), в основі якого лежать ґрунтозахисні технології вирощування сільськогосподарських культур, та які базуються на безполіцевому обробітку, повинно бути організованим відповідно до законів системної цілісності функціонування біокосних систем, в яких відповідність і доцільність внутрішньої структурної побудови слід розглядати як причину екологічної стійкості агроценозів [22, 48, 75, 464–468].

У сучасному агроґрунтознавстві закладено засади узагальнювальної теорії ґрунтової родючості, а в якості детермінуючого поняття розглядається самоорганізація процесів і режимів у ґрунті. З позиції досягнень природничих та точних наук такий підхід слід розглядати як синергетичний [466], а ґрунт сприймати як відкриту нелінійну систему, яка знаходиться у стані термодинамічної нерівноваги із зовнішнім середовищем і розвивається як самоорганізована система, якій властиво “запам’ятовувати” певні правила розвитку.

З позиції кібернетики самоорганізованими і саморегульованими є такі системи, які здатні зберігати працездатність (у нашому випадку — родючість) при непередбачених змінах властивостей природного об’єкта, цілей управління або оточуючого середовища зі зміною алгоритму функціонування чи пошуку оптимальних рішень. Специфічний спосіб виявлення саморегуляції — організація і еволюція ґрунтової родючості [48]. Процес відтворення самоорганізації чорнозему слід пов’язувати з виникненням когерентного зв’язку між елементами

у ґрунтової системи, (ГС) унаслідок чого між її складовими виникають сталі та істотні зв'язки тобто ті, які формують порядок і набувають якості структури і законів композиції [137]. Поняття екологічної стійкості тісно пов'язане з процесами самоорганізації, що матеріалізується у підсиленні здатності чорнозему адаптуватися до змін зовнішнього середовища ціною мінімальних змін своїх оптимізованих параметрів, зберігаючи при цьому стійкість агроценозу [468].

Прийнято розрізняти зв'язки першого порядку, які функціонально необхідні, тобто без яких система існувати не може, та другого порядку, які стабілізують діяльність ґрунтової системи (ГС), значно поліпшують її якісний стан, але не є функціонально необхідними. З урахуванням такого розподілу самоорганізація означає — забезпечення більшої ефективності цілісної ґрунтової системи, ніж сума ефектів взаємодії окремих підсистем і елементів. До зв'язків першого порядку можна віднести зв'язок між вмістом гумусу та щільністю будови, щільністю будови та польовою вологістю, вмістом гумусу та польовою вологістю та зв'язок зазначених параметрів з складовими структурного складу ґрунту. До зв'язків другого порядку слід віднести зв'язки між елементами структурного стану [137, 307].

Розрахунок матриць парних коефіцієнтів кореляції між елементами структурного стану, вмістом гумусу (%), щільністю будови (г/см^3) та польовою вологістю (%) у 0–100 см шарі чорнозему показав, що довгострокове виконання безполіцевого обробітку впливає на відсоток коефіцієнтів кореляції середнього і сильного зв'язку ($R > \pm 0,45$), як прямої так і оберненої дій. При систематичній оранці їх було — 29 %, а при безполіцевих обробітках — 43–52 %, що у 1,5–1,8 раза більше. Коефіцієнтів кореляції прямої дії при безполіцевому мінімальному обробітку було у 1,3–1,9 раза, а оберненої дії у 1,7–2,2 раза більше у порівнянні з оранкою. При виконанні безполіцевого обробітку коефіцієнтів кореляції слабкої дії було у 1,2–1,5 раза менше порівняно з оранкою.

Загальна кількість парних коефіцієнтів кореляції (табл. 9.1), які визначають зв'язки другого порядку (X_4-X_{12}), була: при оранці — 22 %; при безполіцевому обробітку на 22–32 см — 39 %; на 10–12 см — 44 %; на 5–6 см — 50 %. Коефіцієнтів кореляції середнього та сильного рівнів, які визначають зв'язки першого порядку (X_1-X_3) та (X_1-X_3) $\times$ (X_4-X_{12}) при оранці було — 36 %, а при безполіцевих обробітках — 57–83 %. З цих зв'язків прямої дії при оранці та глибокому безпо-

Таблиця 9.1. Вплив системи обробітку на відсотковий (%) розподіл коефіцієнтів кореляції різної сили і спрямованості між агрофізичними показниками у 0–100 см товщі чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого

Величина коефіцієнта кореляції	Оранка на 22–32 см	Безполицевий обробіток на:		
		22–32 см	10–12 см	5–6 см
$R \geq +0,45$	29,2	43,1	52,8	46,0
$R \geq +0,45$	16,7	15,3	32,0	22,2
$R \geq -0,45$	12,5	27,8	20,8	24,0
$R < \pm 0,45$	70,8	56,9	47,2	54,0

лицевому обробітку — 41–54 % та 50–60 % при мінімальному безполицевому обробітках на 5–12 см.

Залежність між умістом гумусу, вмістом структурних окремоностей та водостійких агрегатів розміром 2–5 та 0,5–3 мм при оранці мали зворотній зв'язок: $R_{X_4-X_1} = -0,62 \pm 0,09$ та $R_{X_1-X_8} = -0,54 \pm 0,06$, за глибокого безполицевого обробітку: $R_{X_1-X_4} = -0,59 \pm 0,05$ та $R_{X_1-X_8} = -0,45 \pm 0,05$. При мінімальному обробітку на 5–12 см зв'язок між параметрами був прямий на рівні середньої та сильної кореляції: $R_{(X_1-X_4 \text{ та } X_8)} = +0,51 - 0,91 \pm 0,07$.

Зв'язок між умістом зазначених фракцій агрономічно цінних агрегатів і структурних окремоностей з польовою вологістю при оранці та глибокому безполицевому обробітку був обернений на рівні значень сильної кореляції: $R_{(X_3-X_4 \text{ та } X_8)} = -0,69 - 0,79 \pm 0,05$ та $R_{(X_3-X_4 \text{ та } X_8)} = -0,55 - 0,71 \pm 0,07$ відповідно, тоді як за мінімалізації обробітку до 5–12 см: $R_{(X_3-X_4)} = -0,50 \pm 0,07$ та $R_{(X_3-X_8)} = -0,48 - 0,25 \pm 0,03$, що свідчить про послаблення зв'язку водостійкості структурного стану з фактором зволоженості та підсилення впливу гумусного стану чорнозему на якісні показники структурності чорнозему (табл. 9.1).

Кореляційний зв'язок між щільністю будови (X_2) та складовими структурного складу (X_4-X_{12}) свідчить про послаблення його сили до рівня слабкої кореляції в умовах оранки. Виявлено достовірний обернений кореляційний зв'язок між щільністю будови та польовою вологістю ($R = -0,65 \pm 0,07$). За безполицевого обробітку кількість кореляційних зв'язків, які відносяться до сильних, зростає від глибокого обробітку до мінімального, а зв'язок між польовою вологістю та

щільністю будови у гумусованому горизонті послаблювався. Обернена залежність на рівні сильного кореляційного зв'язку виникає між щільністю будови (X_2) та змінними X_6 ; X_7 (уміст фракцій 0,5–0,25 мм і <0,25 мм), яких при безполицевому обробітку утворюється менше порівняно з варіантом систематичної оранки.

9.2. Довгостроковий вплив способу обробітку на саморегуляцію умов прояву родючості чорнозему типового малогумусного в агроценозах

Виявлені принципи самоорганізації, які було встановлено на чорноземах типових середньогумусних легкоглинистих, проявляються при формуванні структурно-агрегатного складу чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового при довгостроковому (понад 36 років) виконанні оранки, безполицевого і поверхневого обробітку ґрунту та утримання перелугу.

Виявлено, що довгострокове виконання оранки вплинуло на перерозподіл і відсоткове співвідношення парних коефіцієнтів кореляції між складовими суміші структурних окремоностей (X_1 – X_9), показником оструктуреності (X_{10}), щільністю будови (X_{11}) та вмістом CaCO_3 (X_{12}). Загальна кількість кореляційних зв'язків ($R \geq \pm 0,45$) становила 72,7 %, а достовірних — 66,7 %. Зв'язків прямої дії було 39,7 %; достовірних — 38,0 %, оберненої дії — 33,0 % та 26,7 % відповідно (табл. 9.2).

За довгострокового безполицевого обробітку загальна кількість кореляційних зв'язків ($R \geq \pm 0,45$) зменшилася в 1,22 раза, а достовірних — у 1,1 раза. Зв'язків прямої дії стало менше в 1,47 раза, достовірних — в 1,45 раза. Зв'язків оберненої дії залишилося так як за систематичної оранки.

В умовах довгострокового виконання поверхневого обробітку загальна кількість кореляційних зв'язків прямої та оберненої дій ($R \geq \pm 0,45$) було менше порівняно з оранкою в 1,15 раза, а достовірних — в 1,06 раза. При цьому зв'язків прямої дії стало менше в 1,35 раза, а достовірних оберненої дії стало більше в 1,31 раза, що опосередковано свідчить про посилення агрофізичної самоорганізації метрової товщі чорнозему типового, яка змінюється у напрямку формування структурного стану за довгострокового утримання перелугу.

Співвідношення кількості зв'язків прямої дії до оберненої становило: 1,21 до 1 (оранка), 0,80–0,85 до 1 (безполицевий та поверхневий) та 0,92 до 1 (при утриманні перелугу). Співвідношення між достовір-

Таблиця 9.2. Довгостроковий (36 років) вплив способу обробітку на відсотковий (%) розподіл коефіцієнтів кореляції різної сили і спрямованості між агрофізичними показниками у 0–100 см шарі чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового*

Величина коефіцієнта кореляції	Оранка на 22–32 см	Безполицевий обробіток на:		Переліг 36 років
		22–32 см	10–12 см	
$R \geq \pm 0,45$	$\frac{72,7}{66,7}$	$\frac{60,0}{61,0}$	$\frac{64,5}{62,8}$	$\frac{62,0}{52,6}$
$R \geq +0,45$	$\frac{39,7}{38,7}$	$\frac{27,0}{34,0}$	$\frac{29,5}{28,8}$	$\frac{29,5}{22,6}$
$R \geq -0,45$	$\frac{33,0}{26,0}$	$\frac{33,0}{27,0}$	$\frac{35,0}{34,0}$	$\frac{32,0}{30,0}$
$R < \pm 0,45$	27,3	40,0	35,5	38,5

* У чисельнику — загальна кількість кореляційних зв'язків, у знаменнику — % достовірних кореляційних зв'язків.

ними зв'язками різного спрямування становило: 1,5 до 1, 1,25 до 1, 0,85 до 1, 0,75 до 1 відповідно до обробітків.

Виявилося, що за систематичного виконання оранки та безполицевого обробітку загальна кількість коефіцієнтів кореляції ($R \geq \pm 0,45$) становила 75,2–78,3 %, а кількість достовірних зв'язків становила 44,0–46,0 %. Зв'язків прямої дії було 49,0–51,3 %, оберненої — 25,6–27,0 %, а достовірних зв'язків було 32,0–33,0 % і 12,0–13,0 % відповідно (табл. 9.3).

За систематичного поверхневого обробітку загальна кількість коефіцієнтів кореляції прямої й оберненої дії ($R \geq \pm 0,45$) було більшою, ніж за глибоких обробітків в 1,17–1,22 раза, а достовірних — у 1,24–1,30 раза. Зв'язків прямої дії стало більше в 1,18–1,22 раза, а достовірних була однакова кількість.

Зв'язків оберненої дії стало більше в 1,20–1,25 раза, а достовірних у 1,69–1,83 раза, що опосередковано свідчить про посилення процесів самоорганізації та саморегуляції агрофізичного, гумусного, агрохімічного та фізико-хімічного станів у напрямку утримання перелогу впродовж 36 років. Співвідношення кількості зв'язків оберненої дії ($R \geq -0,45$) до кількості достовірних при утриманні перелогу становило 1,10 до 1; за оранки і безполицевого обробітку 2 до 1; при

Таблиця 9.3. Матриці парних коефіцієнтів кореляції між показниками родючості в метровій товщі чорнозему типового малогумусного за різних способів обробітку (2010–2012 рр.)*

Величина коефіцієнта кореляції	Оранка на 22–32 см	Безполицевий обробіток на:		Переліг 36 років
		22–32 см	10–12 см	
$R \geq \pm 0,45$	$\frac{78,3}{46,0}$	$\frac{75,2}{44,0}$	$\frac{92,0}{57,0}$	$\frac{75,0}{54,0}$
$R \geq +0,45$	$\frac{51,3}{33,0}$	$\frac{49,0}{32,0}$	$\frac{60,0}{35,0}$	$\frac{50,0}{31,0}$
$R \geq -0,45$	$\frac{27,0}{13,0}$	$\frac{25,6}{12,0}$	$\frac{32,0}{22,0}$	$\frac{25,0}{23,0}$
$R < \pm 0,45$	21,7	25,7	10,0	27,0

* У чисельнику — загальна кількість кореляційних зв'язків, у знаменнику — % достовірних кореляційних зв'язків.

поверхневому обробітку 1,5 до 1. Співвідношення кількості зв'язків прямої дії до оберненої становило 2 до 1, 1,9 до 1, 1,85 до 1 та 1,35 до 1 2,6 до 1, 1,59 до 1 відповідно до загальної кількості достовірних зв'язків (табл. 9.3).

На основі 24 параметрів, які були використані для розрахунку парних кореляційних зв'язків, проведено чисельну класифікацію подібності між 10 см шарами метрової товщі чорнозему типового малогумусного. За систематичної оранки формується ґрунтовий профіль без чітко виражених ознак групування 10 см шарів ґрунту в підгоризонти (рис. 9.1).

Гумусований горизонт до глибини 60 см має поступове (спадне) з глибиною розмежування за подібністю окремих 10 см шарів ґрунту, а в нижній частині метрової товщі (шар ґрунту 70 — 100 см) формується під горизонт-кластер, в якому подібність між 10 см знаходиться на самому низькому рівні.

За систематичного безполицевого обробітку посилюється диференціація метрової товщі за якісним станом комплексної оцінки 10 см шарів ґрунту. Виділяються в окремий кластер шари ґрунту 0–20 см та 20–40 см. На глибині 70–100 см формується підгоризонт-кластер з відмінними властивостями та мірою подібності з товщею 50–70 см. Характер зміни міри подібності частин метрової товщі має більш

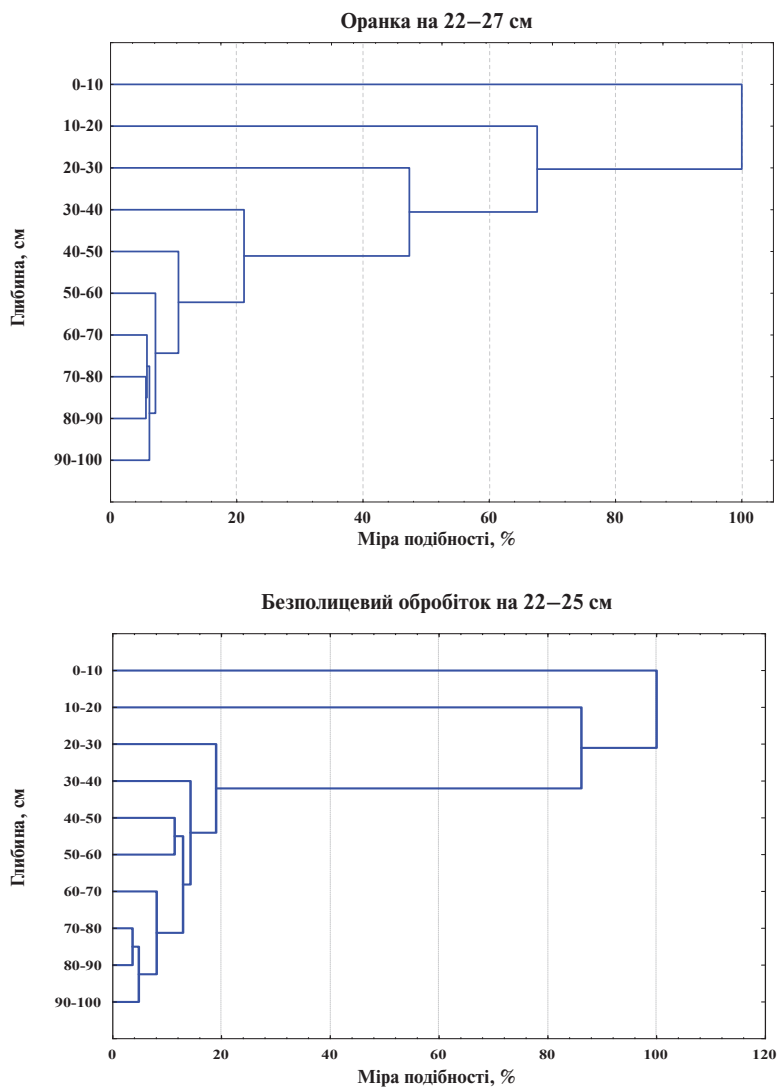


Рис. 9.1. Дендрограми міри подібності між 0–10 см шарами ґрунту метрової товщі чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового залежно від різних способів обробітку (2010–2012 рр.)

виражену диференціацію у порівнянні з профілем за систематичної оранки (рис. 9.1, 9.2). У найбільшій мірі диференціація метрової товщі за якісним станом подібності окремих шарів ґрунту проявляється за систематичного виконання поверхневого обробітку.

В основі формування структурно-агрегатного стану лежить циклічність субординаційних локальних процесів (СЛП) з фазовими переходами. Потоки зовнішньої енергії, які витрачаються на процеси розсіювання (дисипації) у ґрунтовій системі, залежать від напруженості зовнішніх умов, стану чорноземів типових і вологонасичення його шпаруватого середовища.

Перерозподіл вологи у шпаруватому просторі чорноземів сприяє виникненню автоколивальних процесів зміни її термодинамічного стану і є сутністю процесу дисипації енергії у ґрунті [200]. Оцінка диференційної шпаруватості показала, що зниження інтенсивності обробітку ґрунту впливає на будову порового простору (ПП): об'єм агрегатних шпарин збільшується, а міжагрегатних зменшується, що істотно впливає на співвідношення об'єму загальної вологи до об'єму повітря у ґрунті.

Довгострокове виконання різних способів обробітку поліпшує агрофізичний стан 0–40 см шару, але мінімалізація обробітку сприяє покращенню більш помітно за рахунок збільшення об'єму агрегатних шпарин, що прямо пов'язано зі збільшенням умісту агрегатів і структурних окремостей розміром 2–5 мм (при сухому) та 0,5–3 мм (при мокрому розсіюванні) на 15–18 і 20–25 % відповідно.

Перегрупування агрегатів і окремостей з мілких фракцій до зазначених розмірів визначають текстурну шпаруватість, яка відображає граничний рівень ущільнення ґрунту при висушуванні і визначає об'єм шпарин, які вміщують ресурси життєдіяльності ґрунтової біоти. У результаті агрофізичної саморегуляції підвищується однорідність ПП, створюється певна кількість переважаючих їх розмірів, які характерні для структурних окремостей розміром 2–5 мм. Оптимізується макрошпаруватість і співвідношення розмірів шпарин, що стабілізує співвідношення об'єму шпарин зайнятих вологою до об'єму шпарин зайнятих повітрям до 1,1–1,7 до 1 по відношенню до вмісту загальної вологи та 1–1,4 до 1 до запасу продуктивної вологи і забезпечує стабільність оптимального співвідношення у часі.

Гумусований горизонт чорнозему набуває оптимального співвідношення водозберігаючої та водопідйомної здатності, а витрата

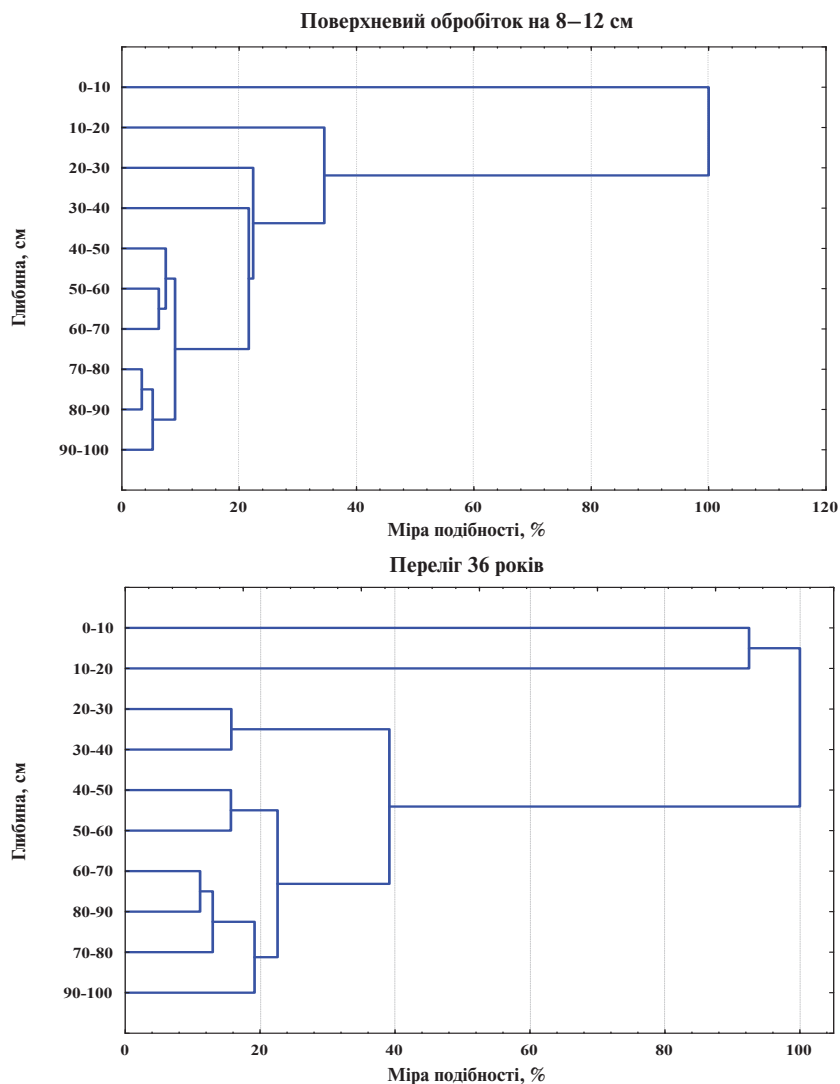


Рис. 9.2. Дендрограми міри подібності між шарами ґрунту метрової товщі чорнозему типового малогумусного легкосуглинкового залежно від різних способів обробітку (2010–2012 рр.)

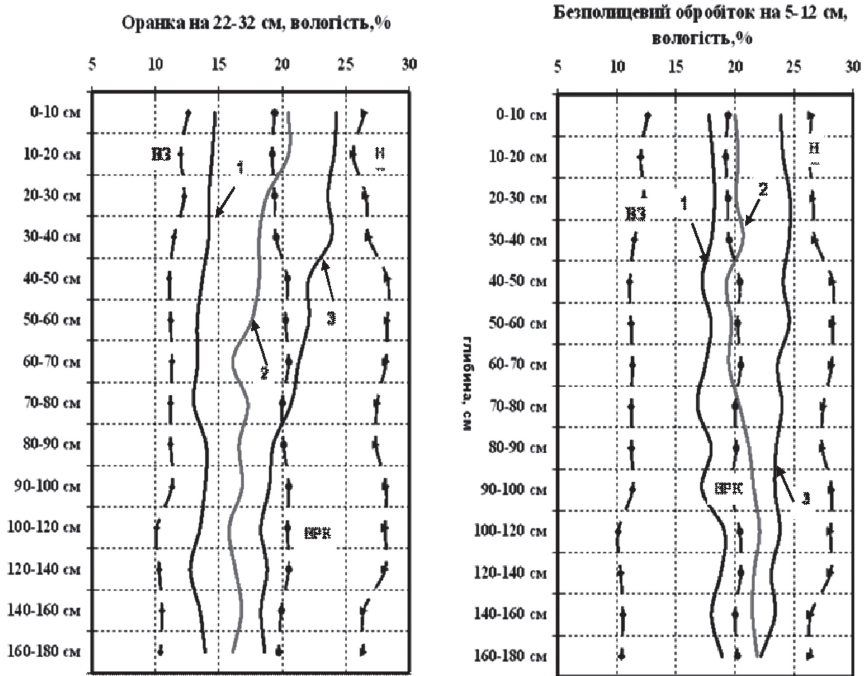


Рис. 9.3. Вплив системи обробітку чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України на профільний розподіл польової вологі (%) за сівозміну, 1987–1992 рр.: 1 — посушливі умови; 2 — оптимальне зволоження; 3 — надмірне зволоження

продуктивного запасу води скорочується на 25–30 %, що підвищує ступінь гідроморфізму чорнозему як автоморфної системи, за рахунок вищого (на 25–76 мм) запасу продуктивної води у ґрунтовій товщі у липні порівняно з традиційною системою землеробства.

Зниження щільності будови та підвищення загальної шпаруватості у товщі чорнозему 50–120 см пов'язано з накопиченням органічної речовини, зміною форми карбонатів: в одиниці об'єму ґрунту знижується вміст зернистого кальциту, який порівняно з кальцитом-люблінитом має інші властивості, а також зростанням біогенності профілю за рахунок підвищення ступеня гідроморфізму ґрунтових умов. Процес розчинення цементуючих сполук та наявність надлишкового

тиску, затиснутого водними менісками ґрунтового повітря, за безполицевого обробітку створюють умови для відносного переміщення твердих частинок, спрямованих на розпушення чорнозему і охоплює весь гумусований горизонт та середню його частину (50–120 см). В умовах оранки, коли у шпаруватому просторі переважають макропори, відбувається процес пересушування чорнозему — видування CO_2 та вологи з ґрунту.

Оптимальність побудови ПП чорнозему в умовах безполицевого обробітку сприяє збагаченню ґрунтового розчину CO_2 і його підкисленню, що викликає зміну умов карбонатної рівноваги та регламентує рухомість мікро- і макроелементів у найбільш оптимальному їх співвідношенні.

В умовах безполицевого обробітку між напруженістю зовнішніх умов та дисипативністю чорнозему виникає стійкий зв'язок, що забезпечує субординаційність локальних процесів саморегуляції в агроценозі: стабілізується активність кінетичного ґрунтового середовища чорнозему [116, 446]. Діапазон термодинамічного стану, що обмежує гомеостатичне плато стійкості чорноземів типових до складових зовнішнього середовища в інтервалі доступної для рослин вологи, задається нерегулярністю перетину шпаруватого простору, а зазначений стан є фундаментальною властивістю чорнозему, що забезпечує незворотність дії циклічних складових зовнішніх потоків енергії та речовини [199].

Саморозвиток ґрунтового середовища у часі та просторі повинен забезпечуватися постійністю перебування чорноземів у зазначеному термодинамічному стані, що визначає циклічність процесів у системі ґрунт-рослина-атмосфера.

Такий стан чорнозему забезпечується, коли зволоженість у товщі чорнозему не знижується до значень ВЗ і, найбільшою мірою, проявляється в інтервалі вологості уповільненого росту (ВУР) — ВРК — 75 % НВ.

Вивчення впливу різних систем обробітку на вологонасиченість ґрунтової товщі чорноземів показала, що постійне виконання безполицевих обробітків зі стійкою тенденцією до мінімізації обробітку призводить до того, що вологонасиченість у шарі 0–100 см у найпошушливіший період літа знаходиться в зазначених межах, тоді як при систематичній оранці знижується до значень менших ВЗ. За рахунок збільшення об'єму агрегатних шпарин у 0–100 см товщі чорнозему

Таблиця 9.4. Вплив системи обробітку на значення парних коефіцієнтів кореляції між компонентами агрономічної структури у шарі ґрунту 0-40 см та ГТК за квітень–серпень на чорноземах типових Лівобережного Лісо-степу України

Розмір фракцій агрегатів, %	Оранка на 22-32 см	Безполицевий обробіток на	
		22-32 см	5-12 см
При сухому розсіві			
>5 мм	R=−0,65±0,03	R=−0,53±0,03	R=−0,45±0,03
>3 мм	R=−0,65±0,02	R=−0,55±0,02	R=−0,43±0,02
2–5 мм	R=−0,70±0,05	R=−0,60±0,05	R=−0,41±0,05
0,5–2 мм	R=0,65±0,04	R=0,55±0,04	R=<0,40±0,03
0,5–3 мм	R=0,70±0,05	R=0,50±0,05	R=<0,40±0,03
d c/p*	R=−0,67±0,05	R=−0,43±0,05	R=<0,40±0,03
При мокрому розсіві			
0,5–3 мм	R=0,63±0,03	R=0,65±0,03	R=−0,41±0,03
0,5–0,25 мм	R=<0,40±0,03	R=<0,40±0,03	R=<0,40±0,03
0,25 мм	R=0,66±0,05	R=+0,66±0,05	R=−0,55±0,05
коефіцієнт водостійкості	R=−0,81±0,05	R=−0,75±0,05	R=−0,53±0,05
d в/д**	R=0,68±0,03	R=0,65±0,05	R=0,45±0,05

d в/д*, d c/p** — середньозважений геометричний діаметр структурних окремоностей і водостійких агрегатів.

і більш високому та стабільному насиченні цього об'єму ґрунтовою вологою відбувається відокремлення від атмосфери рідинними мембранами певного об'єму ґрунтового повітря, яке сприймає коливання зовнішніх термодинамічних умов зміною свого об'єму.

Інтегративність взаємодії елементарних об'ємів затиснутого повітря виявляється у зміні його термодинамічного стану через переміщення узагальнюючого ґрунтового меніску, що призводить до автоколивальних термодинамічних процесів і є сутністю та рушієм процесу саморегуляції ґрунтових процесів у товщі чорнозему в умовах ґрунтозахисних технологій. Результат культурного ґрунтоутворення в агроценозах залежить від подовженості зазначеного стану чорнозему впродовж вегетаційного періоду. При оранці та глибокому безполицевому обробітку перманентність ґрунтоутворення в агроценозах порушується пересиханням товщі чорнозему в період червень–серпень, тоді як при безполицевому обробітку підвищена біогенність у товщі чорнозему забезпечується впродовж усього вегетаційного періоду.

У табл. 10.4 показано значення парних коефіцієнтів кореляції зв'язку між вмістом складових агрономічно цінної структури чорноземів та гідротермічним коефіцієнтом Селянинова (ГТКС) за квітень—серпень. При мінімальному обробітку складові структурного стану чорноземів в гумусному горизонті послаблюють свій зв'язок з гідротермічними умовами першої половини вегетації культур у сівозміні, а при оранці коефіцієнти кореляції підсилюються до середніх і сильних значень.

При довгостроковому (більше 10–36 років) виконанні мінімального безполицевого обробітку ґрунтовий профіль чорнозему набуває більших автономних властивостей по відношенню впливу кліматичних факторів, що проявляється у здатності зберігати свої оптимальні параметри в екологічно виправданому діапазоні значень, який відповідає умовам прояву культурного ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

Відтворення енергодоцільної побудови шпаруватого середовища ґрунтової товщі чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України під впливом довгострокового (10–38 років) виконання безполицевого обробітку слід розцінювати як процес реалізації “пам’яті” про природну морфогенетичну побудову просторової ґрунтової форми чорноземів типових високого рівня самоорганізації, що прямо пов’язано з процесом підсилення залишкових ознак природного ґрунтоутворення і акумулятивною спрямованістю показників родючості у часі. Розширення амплітуди толерантного коливання термодинамічного стану не до насиченого ґрунтовою вологою порового простору і розвиток процесу взаємодії автоколивальних у ґрунті з граничними автоколиваннями кліматичних параметрів та інформаційної взаємодії чорноземів типових з сучасним антропогенним комплексом зовнішнього впливу та кліматичним впливом складає суть саморегуляції і є базовим механізмом прояву розширеного відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

9.3. Вплив способу обробітку на відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах

Родючість чорноземів типових у широкому розумінні представляє собою інтегрований системний показник ґрунтових процесів і властивостей, які відображають особливості функціонування ґрунту,

його внутрішню структуру та зовнішні зв'язки в агроценозі. Побудову моделі родючості ґрунту в агроценозах у загальному вигляді можна визначити як оцінку стану складної ґрунтової системи по сукупності ознак, які несуть інформацію про родючість [22].

Порядок включення саморегуляції ґрунтової родючості може бути різним, але він задається за допомогою основного впливу, який відіграє роль “спускового” механізму, формуючи механізми обернених зв'язків у ґрунті, які дають біокосній системі гарантії стабільності по відношенню до зовнішнього середовища. Якщо ґрунт як система втрачає здатність сприймати інформаційний код саморозвитку, то починається процес деградації, коли втрачається “недоторканий” запас самоорганізації ґрунту. Відновлена здатність ґрунтового середовища реагувати на потоки інформативних впливів — це імпульс до подальшого розвитку ґрунту за рахунок функціонування обернених зв'язків вищого порядку. Важливим чинником “нав'язування” саморозвитку чорнозему є заробка кореневих, поживних решток і гною у 0–15 см шар ґрунту та специфічні умови трансформації біогенної органічної речовини в гумус. Систематичний безполицевий обробіток з часом відтворює морфологічну побудову чорнозему, що матеріалізується у підсиленні морфологічних ознак природного ґрунтоутворення. [65].

Досягається це за рахунок відтворення природного статусу гумусового профілю чорнозему [441]. Сутність хімічного відтворення морфологічного “образу” ґрунтової форми чорнозему проявляється у тому, що існує чітка взаємопов'язана відповідність між просторовою побудовою органічної речовини гумусу, хімічним рельєфом ґрунтових біокаталізаторів і направленістю умов морфогенезу чорноземів типових. Утворення самоорганізованих просторових ґрунтових форм можна вважати основним законом природи подібним до фундаментальних принципів механіки, біології, хімії, а тому критерієм відтворення родючості ґрунту є акумулятивна спрямованість основних показників родючості та підсилення залишкових ознак природного ґрунтоутворення в агроценозах [*]. Завдання системи обробітку ґрунту в агроценозі полягає у тому, щоб витрата енергії потенційної

* Демиденко О.В. Відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах при ґрунтозахисному землеробстві // О.В. Демиденко / Вісник аграрної науки. — 2013. — № 11. — С. 47–51.

родючості максимально спрямовувалась на трансформацію в енергію ефективної родючості [75, 466].

Нами досліджено параметричну структуру моделі родючості чорнозему типового в агроценозі. Сукупність параметричних характеристик, які знаходяться у функціональних зв'язках, складає у загальному вигляді модель родючості. Матриці парних коефіцієнтів кореляції містять у собі 29 змінних, які можна розділити по блоках: агрофізичний, гумусовий, агрохімічний, водний, кліматичний.

Аналіз відсоткового вмісту коефіцієнтів кореляції більших за $R=\pm 0,50$ різної спрямованості свідчить (табл. 9.5) про те, що за оранки загальна кількість коефіцієнтів кореляції нижча в 1,21–1,39 раза у порівнянні з безполицевим обробітком на 22–32 та 5–12 см. Коефіцієнтів кореляції прямої дії було менше у 1,4 раза, а оберненої дії у 1,36 раза порівняно з мінімальним безполицевим обробітком.

При порівнянні кореляційних матриць звертає на себе увагу різний ступінь розсіювання коефіцієнтів кореляції у матричних полях. Інтенсивність обробітку чорнозему підвищує рівень хаотизації кореляційних зв'язків у різних блоках параметрів. Найбільш стійким блоком ґрунтових параметрів є агрофізичний блок.

Проте інтенсивний обробіток призводить до того, що кореляційні зв'язки хаотизуються у матричному полі, а за мінімального обробітку, навпаки, зростає упорядкованість і сила обернених зв'язків, які визначають саморегуляцію та самоорганізацію, середнього і високого рівня.

Аналогічна закономірність проявляється між показниками гумусового, агрохімічного, водного блоків ґрунтових параметрів родючості.

Таблиця 9.5. Відсотковий розподіл коефіцієнтів парної кореляції у матричних моделях родючості

R±	Оранка на 22–32см	Безполицевий обробіток	
		22–32 см	5–12 см
>±0,50	29	35	40
>0,50	15	17	21
>–0,50	14	18	19
<±0,50	71	65	60

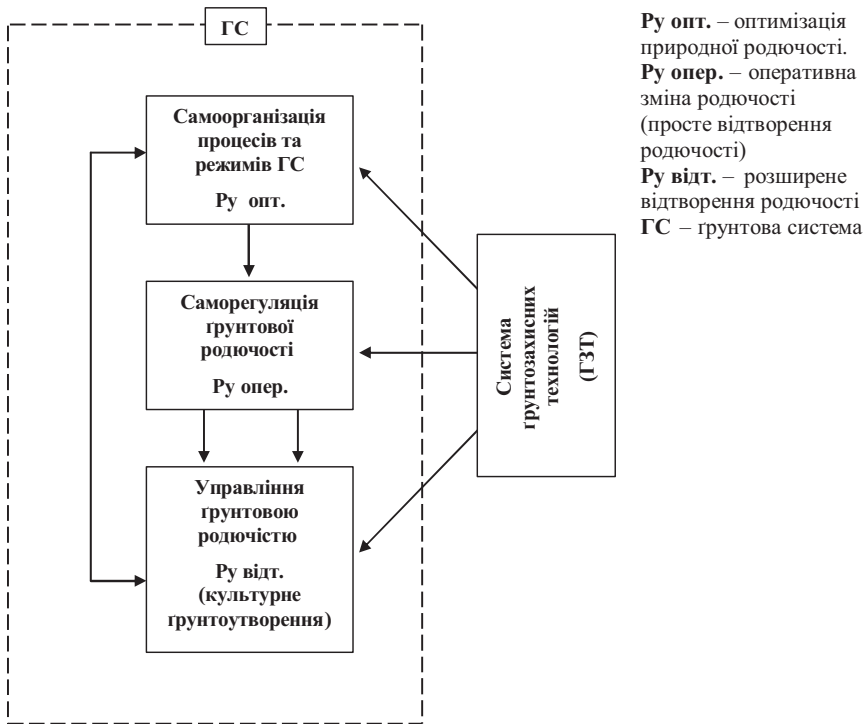


Рис. 9.4. Блок-схема розширеного відтворення чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України

Звертає на себе увагу той факт, що між значеннями гідротермічного коефіцієнта Селянинова (X_{27-28}) і кількістю опадів за квітень–серпень (X_{29}) та іншими параметрами родючості при оранці виникає 23 сильних кореляційних зв'язків. З них 9 оберненої спрямованості і 14 прямої; за глибокого безполицевого обробітку — 19, 13 і 6; а за мінімально обробітку — 7, 4 і 3 зв'язки відповідно, що свідчить про послаблення впливу кліматичних факторів, на стійкість параметрів родючості чорнозему за мінімального обробітку в агроценозах. При оранці й глибокому безполицевому обробітку агрофізичний стан 0-30 см шару чорнозему визначається гідротермічними умовами та кількістю опадів за теплий період року, що свідчить про аридизацію

грунтових умов і прояв агрофізичної деградації. В умовах систематичної оранки, у більшій мірі, і глибокому безполицевому обробітку, у меншій мірі, реалізація природної й ефективної родючості та продуктивність агроценозу залежить від стану кліматичних факторів.

При безполицевому обробітку чорнозем набуває автономності, а потенційна й ефективна родючість не лімітується у своїй реалізації, що визначає рівень продуктивності агроценозу та умови розширеного відтворення родючості чорнозему.

Різні задачі управління родючістю, виділення і підбір відповідних вирішальних змінних, характер управляючих впливів, що застосовуються, потребує трьох субсистем управління [22]:

- оптимізації природної родючості ($P_{у.опт.}$);
- оперативного управління родючості ($P_{у.опер.}$);
- розширеного відтворення родючості ($P_{у.відтв.}$).

Субсистеми повинні бути взаємопов'язаними і бути складовими управління продуктивним процесом в агроценозі (рис. 9.4).

Управляючим впливом у розширеному відтворенні родючості чорноземів типових є система ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур із мінімалізацією обробітку чорноземів в агроценозах до 5–12 см. Оптимізація процесів природної родючості чорнозему в агроценозі пов'язана із підсиленням процесу самоорганізації ґрунтової системи, що прямо впливає на процеси саморегуляції ґрунтової родючості. У свою чергу, невисокий рівень саморегуляції забезпечує просте відтворення родючості, а досягнення високого рівня саморегуляції — забезпечує управління відтворенням родючості чорноземів або розширене відтворення їхньої родючості.

Система управління відтворення чорнозему в агроценозі (рис. 9.4; табл. 9.6) в якості підсистеми включає: інформаційно-вимірювальну систему і технологію управління, що забезпечує оперативний контроль за параметрами, обробку, аналіз отриманих даних, відпрацювання керуючих впливів і технологію їх застосування. Розширене відтворення родючості вирішується шляхом поступової оптимізації природної родючості та оперативного управління родючістю. Основна стратегічна установка при розробці систем управління у процесі відтворення ґрунтової родючості чорноземів полягає у підсиленні природного ґрунтоутворення в агроценозах, виборі відповідних управляючих впливів, прогнозуванні результатів управління в часі за період розвитку ґрунту в агроценозі. Окультурення чорнозему в агро-

Таблиця 9.6. Система управління родючістю чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України

Оптимізація природної та відтворення потенційної родючості ($P_{y \text{ опт.}}$)	Просте відтворення родючості ($P_{y \text{ опер.}}$)	Розширене відтворення родючості ($P_{y \text{ відтв.}}$)
<i>Мета</i>		
Оптимізувати умови прояву потенційної родючості чорнозему за рахунок відтворення природної послідовності режимів та процесів з ціллю послаблення внутрішніх та зовнішніх обмежень прояву ефективної родючості та продуктивності агроценозу (самоорганізація)	Забезпечити умови росту с.-г. культур на основі відтворення внутрішніх властивостей ГС шляхом підсилення зворотних зв'язків між різними ієрархічними рівнями у ґрунті з ціллю досягнення гомеостатичної збалансованості у системі зовнішніх взаємодій (саморегуляція)	Самопідтримання енергододільного стану чорнозему за рахунок прояву високого рівня автокореляції між самоорганізаційною, саморегуляційною ґрунтових структур різної ієрархії, спрямованих на реалізацію енергетичного коду (пам'яті) природного ґрунтоутворення з ціллю розширеного відтворення родючості чорнозему та підвищення продуктивності агроценозу (управління)
<i>Детермінувальні ґрунтові характеристики</i>		
Відтворення сезонних і річних циклів гумусу. Накопичення детриту та гумусу. Перегрупування структурних одиниць та агрегатів за розміром у бік укрупнення. Зміни у агрофізичній побудові гумусованого горизонту чорнозему. Зміна ОВП, рН. Оптимізація газового режиму. Зміна спрямованості у живленні: а) азотному; б) фосфорному;	Взаємодія сезонної циклічності гумусу та водостійкості мікро- і макроагрегатів у часі. Взаємодія між окисно-відновними умовами та азотно-фосфорним живленням. Взаємодія між ОВП, газова режимом та мінералізацією органічної речовини. Відтворення гетеротрофної фіксації вуглецю сапрофітними мікроорганізмами ґрунту. Забезпечення параметрів гідроморфізму ґрунтової товщі чорнозему	Відтворення взаємозв'язку між фізіологічною циклічністю росту і розвитку с.-г. культур, відтвореною циклічністю життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів різних трофічних рівнів та саморегульованим механізмом основних процесів та режимів у ґрунті (активізація сезонної циклічності МБК речовини, енергії та біофілних елементів у агроценозі). Відтворення термодинамічно доцільної побудови структури шаруватого простору ГС, яка задає оптимальний рівень енергонасиченості у ґрунті та прямо пов'язаний з підсиленням кінетичної активності

Закінчення таблиці 9.6

Оптимізація природної та відтворення потенційної родючості ($P_{y \text{ опт.}}$)	Просте відтворення родючості ($P_{y \text{ опер.}}$)	Розширене відтворення родючості ($P_{y \text{ відтв.}}$)
г) калійному. Оптимізація режиму зволоження вегетації культур. Підвищення періоду біологічної активності чорнозему.	як фактора ґрунтоутворення. Оптимізація кислотнo-лужної рівноваги ґрунтового розчину. Підсилення взаємодіє між біохімічних процесів у ґрунті. Саморегуляція мікробіологічного стану ґрунту. Оптимізація азотно-вуглецевого обігу в агроценозах	Активізація рухомості, форми та підвищення вмісту карбонатів (реградація). Посилення автокореляції у азотно-вуглецевому обігу та впливу N-ефекту та CO_2 фактора на активізацію ґрунтоутворення у напрямку природних ценозів
<i>Детермінувальні впливи</i>		
Система ґрунтозахисного (на 5–12, 22–32 см) обробітку ґрунту з мультіванням поверхні поля побічною продукцією. Внесення оптимальної дози (10–14 т/га гною або 5–7 т/га побічної продукції) органічних і мінеральних добрив ($N_{60-65}P_{60-65}K_{65-70}$ та по-верхнєве їх заготаргання). Дотримання науково-обґрунтованої системи сівозміни. Система захисту рослин. Система меліорації. Організація території	Поступове зниження інтенсивності і глибини ґрунтозахисного обробітку до 5–12 см. Оптимізація співвідношення органічних добрив до мінеральних (т/кг д.р.) : 1 до 15–30 — прос-те розширення родючості; 1 до 8–15 — розширене відтворення родючості ґрунту (інтенсивна біо-логізація процесів культурного ґрунтоутворення). Зменшення хімічного пресингу на мікрофлору ґрунту — обмеження на застосування пестицидів. Біологізація захисту агроценозів від шкідників, хвороб та бур'янів. Організація території	Підтримка бездефіцитного балансу ор-ганічної речовини, енергії і біофільних елементів у агроценозах. Застосування високопродуктивних сортів с.-г. культур. Застосування біостимуляторів росту с.-г. рослин. Підвищення взаємозв'язку і взаємовпливу фітоценозів агроєкосистем з природними екосистемами за рахунок застосування ґрунтозахисного обробітку чорноземів. Організація території

ценозі, як ґрунтоутворення, забезпечується простим або розширеним відтворенням родючості ґрунтів [103] і діагностується за вмістом загального гумусу, рухомих форм фосфору та калію за обов'язковою умовою збільшення їх вмісту. Тільки за такою умовою за висновками М.І. Полупана та ін. [330] відбувається культурне ґрунтоутворення, яке забезпечує збереження та покращення інших ґрунтових параметрів родючості. Окультурення слід сприймати, як видозмінений дерновий процес ґрунтоутворення, при якому відбувається акумуляція речовини, ступінь прояву якої залежить від культури землеробства.

Систематичне застосування ґрунтозахисних технологій в найбільшій мірі відповідає логіці оптимального еколого безпечного природокористування і, у першому наближенні, є закономірним продовженням процесу освоєння явища організації агроценозу на біоценотичних принципах і повинно сприйматися, як природне посилення ноосфери, закони розвитку якої формуються в процесі свідомої діяльності людини з використанням системних законів організації біогеоценозу при якісно ведучій ролі соціальних факторів [120–123, 125, 278, 412, 413, 448].

Системою землеробства можна управляти закономірністю фаціального гумусотворення, як в бік посилення ксероомфності зволужених чорноземів (систематичне виконання інтенсивного обробітку), так і в бік посилення фаціального гумусотворення за рахунок підсилення ступеня зволоженості ґрунтової товщі в сезонному та річному циклах під впливом систематичного застосування ґрунтозахисних технологій в агроценозі. Принцип управління фаціальним гумусонакопиченням чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України повинен сприйматися, як один із законів адаптивного землеробства при наростанні посушливості клімату Лісостепової зони України.

В агрономічному (технологічному) розумінні відтворення родючості чорнозему в агроценозі слід сприймати, як підсилення здатності ґрунту під впливом агротехнічних (системи землеробства, технології вирощування), меліоративних заходів та організації території забезпечувати потреби сільськогосподарських рослин в екологічно важливих факторах життя і посилювати стійкість ґрунту проти факторів деградації [105].

Відтворення чорнозему в агроценозі більш широке поняття, ніж відтворення його родючості — воно включає два аспекти: розширене відтворення родючості і культурне ґрунтоутворення в агроценозі.

Культурне ґрунтоутворення слід сприймати, як посилення сукупної дії біологічного фактора ґрунтоутворення в умовах сільськогосподарського використання чорноземів типових за рахунок покращення гідротермічних ґрунтових умов, наслідком якого є підсилення залишкових морфологічних ознак, акумулятивної спрямованості режимів і процесів природного ґрунтоутворення та відновлення функціонально-екологічних і фаціальних закономірностей гумусоутворення в умовах агроценозу.

Відтворення родючості чорнозему в агроценозі — повернення чорнозему здатності (при антропогенному, техногенному впливах та впливі зовнішніх сил природно-кліматичного походження) зберігати свої параметри в оптимальному екологічно й агроекологічно виправданому діапазоні значень під впливом культурного ґрунтоутворення, що сприяє підтриманню рівноваги самої агроєкосистеми, за рахунок підсилення самоорганізації, саморегуляції та самозбереження процесів і режимів, які забезпечують розширене відтворення родючості. Детермінуючим і управляючим впливом у відтворенні родючості чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України повинні бути ґрунтозахисні технології вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на безполіцевому обробітку. Під впливом прийомів використання природних енергетичних ресурсів агроландшафту (сукупність ґрунтозахисних технологій), з метою забезпечення екологічної стійкості чорнозему та за рахунок відновлення його природного статусу в агроценозах, створюються умови, коли об'єми використаної енергії потенційної родючості чорнозему не перевищують рівня, за яким починається втрата стійкості агроценозу, а об'єми відчуження ефективної родючості не перевищують компенсаційного об'єму енергії екологічно безпечної якості за рахунок антропогенних надходжень в агросистему.

ФАКТОР ЧАСУ І ВІДТВОРЕННЯ РОДЮЧОСТІ ЧОРНОЗЕМІВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЗА ҐРУНТОЗАХИСНОГО ОБРОБІТКУ

Еволюційно-хронологічні питання ґрунтоутворення в агроценозах сівозмін Лівобережного Лісостепу України набувають великої актуальності в зв'язку з тим, що на сучасному етапі розвитку агроґрунтознавства від вирішення зазначеного питання залежить прогрес у розробці загальної теорії розширеного відтворення родючості ґрунтів, а в практичному плані — реалізація актуальних програм раціонального використання ґрунтових ресурсів, їх відтворення та управління [87, 134, 135, 361, 435, 446]. Доцільним є розгляд ключових позицій теорії розвитку ґрунтів — аналізу значення фактора часу в розвитку родючості ґрунтів в еко- і агроєкоценозах [352]. Визначення ґрунту, зроблене В.В. Докучаєвим [136], свідчить про дуалізм в оцінці значення фактора часу при ґрунтоутворенні — час наявний як універсальний для факторів ґрунтоутворення інтегральний множник (вікова взаємодія), і як самостійний фактор ґрунтоутворення (вік території). Б.Б. Полинов [328] зазначав, що результат ґрунтоутворення, при незмінності інших факторів, може суттєво змінити свій характер під впливом часу. З точки зору А.А. Роде [363] час не є джерелом речовини і енергії, а тому не може бути включеним в систему факторів ґрунтоутворення нарівні з іншими факторами.

З точки зору Г. Ієні [167] для рівнозначності факторів їх слід розглядати як нейтральні параметри, які не сприймаються ні як сили, ні як причини, ні як прояв енергії — вони повинні бути незалежними змінними, які характеризують ґрунтову систему. Фактор часу закладений в самих факторах ґрунтоутворення і являє собою необхідну форму існування матерії взагалі і ґрунтів безпосередньо. У найбільш загальному вигляді [390, 391] розвиток ґрунтів у часі розділяється на дві основні форми:

- одночасно з зміною факторів ґрунтоутворення і під безпосереднім впливом цих змін;
- за рахунок саморозвитку, який відбувається незалежно від зміни зовнішніх факторів ґрунтоутворення, рушійною силою якого є внутрішні протиріччя ґрунтоутворювального процесу в системі ґрунт—рослина, поза якою саморозвиток неможливий (процес формування ґрунтової родючості).

І. Ньютон дав чітке визначення часу, яке прийняте до загального вжитку: абсолютний, істинний і матеріальний час сам по собі і в силу своєї природи тече рівномірно і безвідносно до будь-якого іншого об'єкта. У визначенні ґрунту, даному В.В. Докучаєвим [135], фактор часу розумівся з позиції класичної механіки, яку заклав І. Ньютон.

Ідею про існування фізичних властивостей часу належить М.О. Козиреву [218], який прийшов до висновку про те, що події у просторі можуть відбуватися не тільки в часі, але і за допомогою часу. Час наділений несиметричними властивостями і пов'язаний з нерівноважністю матеріального світу, що слід розцінювати, як спрямованість або хода часу. В силу цього час може виконувати роботу і виробляти енергію. Нерозривний зв'язок часу і простору має особливе значення — кожне фізичне тіло породжує в оточуючому просторі силове поле, яке проявляє свою дію в тому, що на тіло у певній точці діє сила, а простір перетворюється у матеріальне середовище, яке здатне взаємодіяти з іншими тілами і набуває, таким чином, фізичних властивостей, стаючи активним співучасником матеріальних процесів.

Концепція ієрархії рівнів структурної організації ґрунту за Б.Г. Розановим [358, 359] включає шість послідовних рівнів: атомарний, кристало-молекулярний, агрегатний, горизонтний, профільний і асоціативний, а за А.Д. Вороніним [79] в ієрархію структурних рівнів включено принцип цілісності і елементарності: молекулярно-йонний, рівень елементарної ґрунтової частки, горизонтний, рівень ґрунтового індивідууму. Структурні рівні організації ґрунту знаходяться в постійному розвитку і тісному генетичному зв'язку як між собою, так і з факторами ґрунтоутворення.

За визначенням В.І. Вернадського [62], час є одним з основних проявів речовини і невіддільний від неї за змістом: час і простір в природних явищах нерозривно пов'язані між собою і характеризуються полярністю векторів та симетричністю будови. За В.І. Вернадським [61] ґрунтоутворення проявляється в площині взаємодії живої ре-

човини з косною в геологічному і історичному масштабах часу, які відбуваються в поверхневій частині кори вивітрювання земної товщі і в якій спряжені найбільш великі і найменш короткі відрізки часу різного роду взаємодій. Час є одним з основних проявів речовини і невіддільний від неї за змістом. Розвиток ґрунтів в часі відбувається одночасно в результаті накопичення нових якостей під впливом внутрішніх процесів, які протікають у самому ґрунті. Процес саморозвитку ґрунтів у часі нескінченний і не має внутрішнього механізму завершення. Саморозвиток відбувається дискретно — стадії відносно швидкого розвитку змінюються стадіями уповільненого розвитку [361, 390, 391, 397, 403].

На рівні з факторами ґрунтоутворення, кожен з яких є рівноцінним і незамінним для проявлення та існування ґрунтів як самостійних природно-історичних тіл, В.В. Докучаєв [135] надавав великого значення виявленню основних законів науки про ґрунти. В загальних рисах суть цих законів криється в наступному: 1) постійності співвідношення між внутрішніми компонентами ґрунту: фізичними, хімічними, біологічними; 2) постійності співвідношення між ґрунтом і зовнішніми чинниками ґрунтоутворення; 3) змінності ґрунтів і ґрунтового покриву в часі і просторі; 4) постійності співвідношення між ґрунтами, природними умовами і господарською діяльністю людини. Останні два положення прямо пов'язані з антропогенним ґрунтоутворенням.

Одним з основних акцентів моделей родючості в ґрунтозахисних і ґрунтовідновних системах землеробства є доповнення дефіцитних елементів родючості до рівня високої продуктивності агроєкосистеми, що сприяє розширеному відтворенню ґрунтової родючості за принципом приросту родючості в часі [313, 405, 406, 457]. Порушення процесів саморегуляції родючості чорноземів, як відкритої нелінійної системи, призводить до руйнування внутрішньоґрунтових зв'язків, для відтворення яких потрібен певний час — спрацьовує фактор віку, відкритий В.В. Докучаєвим [135, 136], тому застосовуючи ґрунтовідновні системи обробітку, в основі яких лежить безполіцевий обробіток, і які здатні моделювати природні процеси ґрунтоутворення, потрібно враховувати фактор часу. Періодичне переорювання тривалих агротехнічних фонів з безполіцевим обробітком не просто втрата одного року — це знищення відповідного рівня самоорганізації ґрунтової родючості, на відтворення якого потрібен час [434, 446, 460–462].

Розвиток нелінійних відкритих систем, до яких відносяться ґрунти, на різних ієрархічних рівнях інтеграції відбувається відповідно критичними точками розвитку, які визначаються співвідношенням $e^e=15,15$ і розділяють характер поведінки системи в часі на відрізки, де розвиток відбувається аллометрично (поступово) та експоненціально (стрибоподібно). Синхронізація критичних періодів експоненціального розвитку та їх взаємодія з критичними рівнями аллометричного розвитку виражається співвідношенням $(e^3 - e^e)/e^3 = 0,246$ і свідчить, що великий цикл синхронізації (e^e) можна представити як такий, що складається з фази якісних перетворень ($3/4$ будь-якого циклу) і фази перебудови ($1/4$ будь-якого циклу). Характерним для переходу через критичний рівень є зміна параметрів “ a ” і “ b ” у рівнянні аллометричного типу $y = ax^b$, де “ b ” вказує на скільки відсотків змінюється значення функції при зміні аргументу на 1 % [152, 153].

Нашими дослідженнями [122, 434] встановлено, що між продуктивністю культур в агроценозах та вмістом водостійких агрегатів існує певний кореляційний зв'язок, який при систематичній оранці досягав рівня $R = +0,50 - 0,55 \pm 0,04$, а при безполицевому обробітку: $R = +0,65 - 0,68 \pm 0,03$. Показники степеневі функції при безполицевому обробітку були у 1,4 раза вищими, ніж за оранки. Злами на логарифмічній кривій показують, що за ротацію сівозміни за оранки “критичний” вміст водостійких агрегатів крупніших за 0,25 мм становив 38–40 %, а за безполицевого обробітку — 45–47 %. Критичним значенням вмісту агрегатів відповідає мінімальний приріст продуктивності сівозміни: 19,8–20,0 ц та 22,2–23,4 т кормових одиниць на 1 га с. з. площі.

Аналогічний розрахунок проведено між продуктивністю сівозміни та вмістом водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм. За оранки коефіцієнт кореляції між параметрами був на низькому рівні: $R = +0,11 \pm 0,05$, тоді як за систематичного безполицевого обробітку на рівні сильної кореляції: $R = +0,65 \pm 0,03$. Показник степеневі функції у рівнянні в останньому випадку був у 5,1 раза вищим, ніж за оранки. Критичні точки вмісту водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм на обох варіантах відповідали 21–24 %, а продуктивність культур у сівозміні становила 19,9–22,0 т/га кормових одиниць, що було отримано на 3–4 рік від початку досліджу.

Починаючи з 3–4 року проведення досліджень, на варіанті з безполицевим обробітком, вміст водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм

поступово почав зростати, тоді як за оранки настав період стабілізації вмісту агрегатів цього розміру. Лише з 6-го року досліджень, спостерігається активне наростання вмісту водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм у 0–30 см шарі ґрунту. Максимальний вміст водостійких агрегатів цієї фракції виявлено на 8-й рік від початку досліджень: при оранці вміст становив 54–56 %, а при безполіцевому обробітку — 68–70 % від загальної суми агрономічно цінних водостійких агрегатів. В подальші два роки, в першому випадку, вміст водостійких агрегатів розміром 0,5–3 мм почав знижуватися, а в другому — вміст цієї фракції стабілізувався, що вплинуло на продуктивність сівозміни. При безполіцевому обробітку вихід кормових одиниць на 1 га с. з. площі був вищим ніж за оранки на 8–10 %.

Рівень агрофізичних властивостей 0–30 см шару чорнозему типового прямо пов'язаний зі здатністю ґрунтового профілю накопичувати і витратити запаси продуктивної вологи на формування врожаю сільськогосподарських культур у сівозміні. На рис. 10.1 і 10.2 представлено логарифмічні криві накопичення та витрати запасу про-

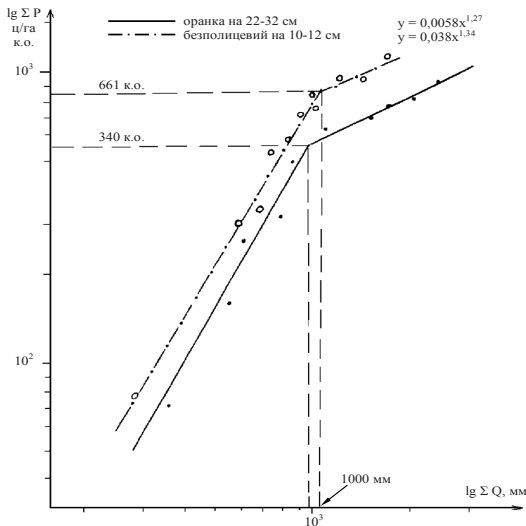


Рис. 10.1. Вплив різних систем обробітку чорнозему типового на витрату запасів продуктивної вологи і продуктивність в зерно-просапній сівозміні для умов Південного Лівобережного Лісостепу України

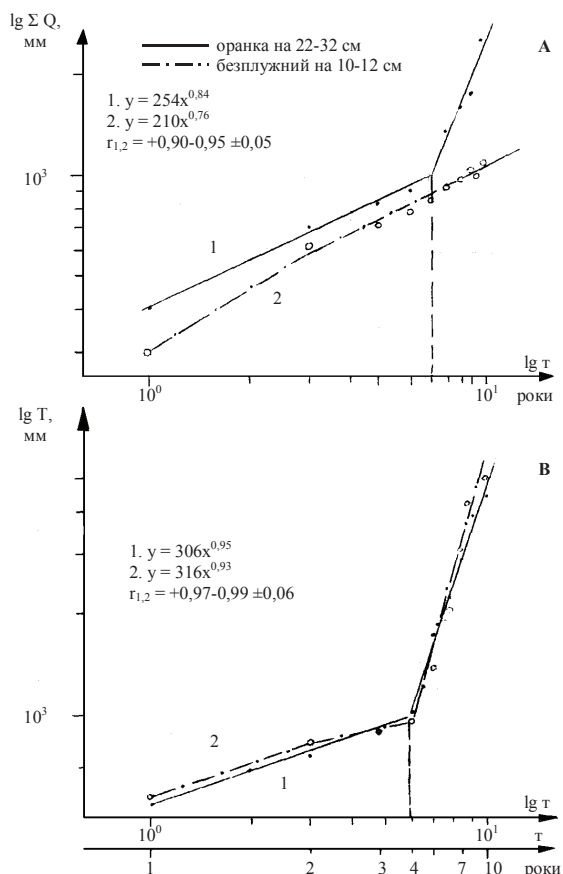


Рис. 10.2. Вплив системи обробітку чорнозему типового на витрати продуктивної вологи (А) та накопичення в квітні (В) в зерно-просапній сівозміні для умов Південного Лівобережного Лісостепу України (дані подано за кумулятивним принципом у логарифмічному масштабі)

дуктивної вологи за ротацію культур у сівозміні. Дані представлено за кумулятивним принципом. Рівняння степеневі залежності між часом і кількістю накопиченої вологи по рокам на обох варіантах були однаковими.

На 4-й рік від початку досліджень утворюється злам логарифмічних кривих, що відповідає 1000 мм накопиченого запасу продуктивної води і свідчить про настання критичного рівня в процесі її накопичення. Розрахунок степеневої залежності між витратами запасів продуктивної води і фактором часу показує, що за величиною коефіцієнтів “a” і “b” степеневі функції витрат води в часі при безполіцевому обробітку скорочується, про що свідчить плавний хід логарифмічної кривої. При оранці крива має точку злам (4 роки від початку досліду), після якої витрата води різко зростає.

На рис. 10.2 показано залежність між продуктивністю культур у сівозміні та витратою води за період їх вегетації. Точки злам логарифмічних кривих відповідають 1000 мм витраченої води, а кількість врожаю кормових одиниць при оранці становить 34 т, а при безполіцевому обробітку — 66 т/га, що майже у 2 рази більше.

Важливою складовою родючості чорнозему типового є баланс органічної речовини в перерахунку на гумус. На рис. 10.3 і 10.4 показано

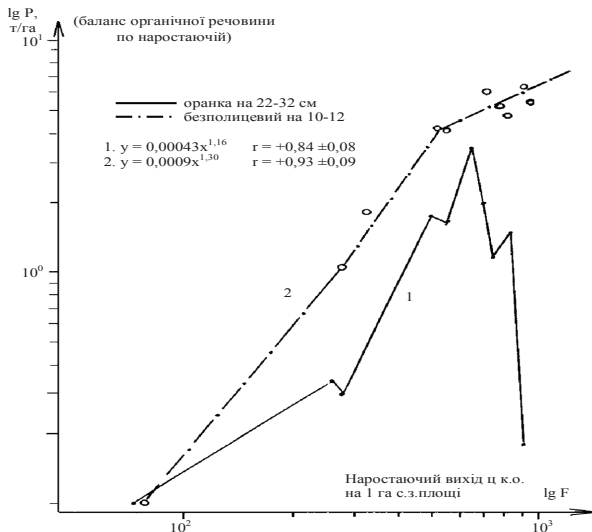


Рис. 10.3. Залежність продуктивності сівозміни (т/га к. о.) від балансу органічної речовини (т/га) при різних системах обробітку чорнозему типового за ротацію культур в зерно-просапній сівозміні для умов Південного Лівобережного Лісостепу України

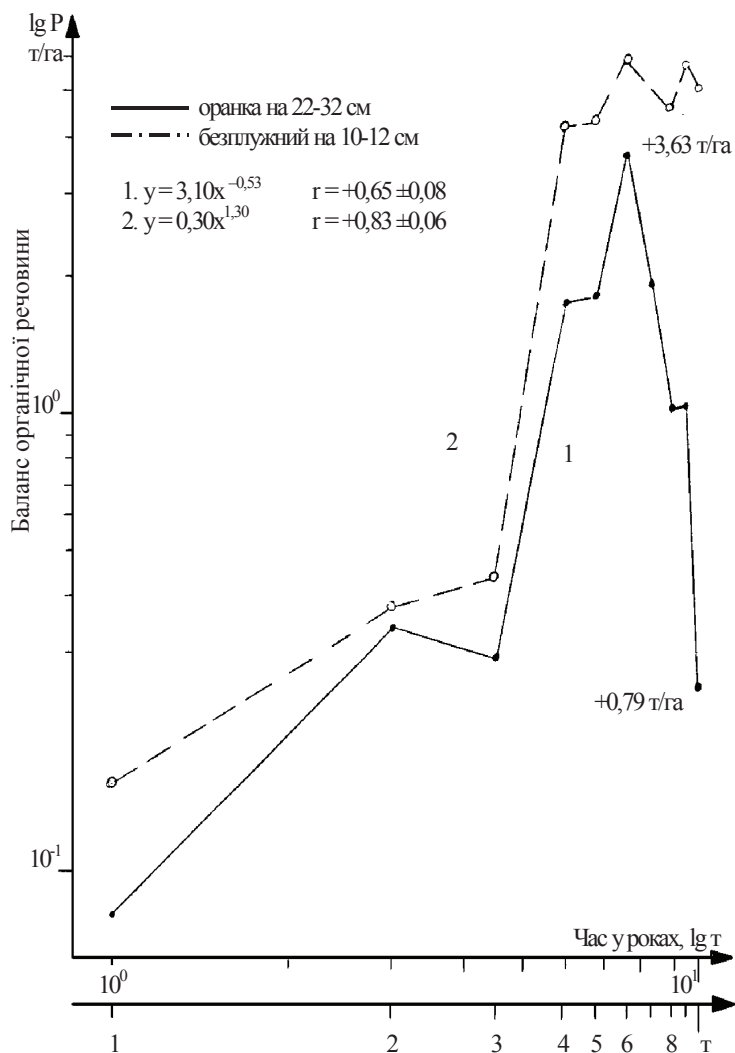


Рис. 10.4. Вплив системи обробітку чорнозему типового на баланс органічної речовини у перерахунку на гумус за ротацію культур в зерно-просапній сівозміні для умов Південного Лівобережного Лісостепу України

баланс органічної речовини в сівозміні при різних системах обробітку і внесенні $N_{85}P_{75}K_{65}$ на фоні 15 т/га гною за ротацію культур. Виявилося, що степеневий показник в рівняннях регресії за різного обробітку має не тільки різне абсолютне значення, але і знак. За оранки підвищення продуктивності сівозміни супроводжується зниженням позитивності балансу органічної речовини, а за безполицевого обробітку — наростання продуктивності культур відбувається на фоні підвищення позитивності балансу органічної речовини. Перший злам логарифмічних кривих зміни балансу органічної речовини в часі припадає на 3–4-й рік від початку дослідів, а наступний — на 5–6-й рік. В подальшому при оранці логарифмічна крива різко змінює свій хід донизу, тоді як при безполицевому обробітку баланс органічної речовини поступово зростає. На кінець ротації за оранки баланс становив: +0,79 т/га, а за безполицевого обробітку: +3,60 т/га органічної речовини в перерахунку на гумус. Зв'язок між балансом органічної речовини та продуктивністю культур в сівозміні виявився на рівні сильного кореляційного зв'язку. При систематичному застосуванні безполицевого обробітку злам логарифмічної кривої відповідав +0,26 т/га органічної речовини та 35 т/га кормових одиниць. В першому випадку він відповідав 4–5, а у другому — 8-му року від початку дослідів. В подальші роки наростання виходу кормових одиниць відбувалося на фоні зростання позитивності балансу органічної речовини в умовах безполицевого обробітку та на фоні зниження позитивності балансу в умовах систематичної оранки.

На основі викладеного вище, ми прийшли до висновку про те, що при однаковій кількості внесених мінеральних та органічних добрив (15 т/га гною + $N_{85}P_{75}K_{65}$) при систематичному застосуванні безполицевого обробітку виходимо на розширене відтворення родючості чорнозему типового, тоді як при оранці тільки на просте. Головним аргументом про розширене відтворення родючості служить факт поліпшення агрофізичних властивостей у 0–30 см шарі, більш раціональне використання продуктивної вологи з ґрунтової товщі на одиницю основної продукції і, головне, зростання продуктивності культур в сівозміні на фоні подальшого зростання позитивності балансу органічної речовини в перерахунку на гумус.

В перші 3–4 роки безполицевий обробіток на чорноземах типових, які знаходяться в стані перебудови внутрішньо ґрунтових зв'язків, організації ґрунту як системи і виходу комплексу основних

агрономічних показників характерних для моделі ґрунту з низьким рівнем родючості. Після четвертого року проявляється середній рівень агрофізичної самоорганізації із стійкою тенденцією виходу на її високий рівень. При систематичному застосуванні ґрунтозахисних технологій за умови достатнього внесення органічних і мінеральних добрив, стан, що відповідає високому рівню родючості, досягається на 7–8-й рік, а при систематичній оранці на 10–12-й рік. Виявляється, що в подальші роки, в умовах систематичного виконання ґрунтозахисних технологій, відбувається нарощування потенціалу факторів родючості, тоді як за систематичної оранки можна досягти стану простого відтворення родючості з невисокою гарантією стабілізації такого стану в часі.

За М.О. Садовським [371–376] питання дискретності часу, що відповідає етапам розвитку процесів руйнування та деформації гірської породи, заслуговує особливої уваги і розгляду. Послідовність тривалості циклів в часі утворює геометричну прогресію з знаменником $\lambda=3,5-4$ ($\approx 3,8$). Існує послідовність циклів у часі від 160 хв до 5 млрд років. Для ґрунтознавства цінним є відрізок від 3 місяців до 200 років: 3 місяці сезонний пікоцикл; 1 рік — річний цикл; 5 — геотерцій; 15 — сонячний наноцикл; 60 — віковий наноцикл; 200 років — геосекунда. В силу того, що час є одним з основних проявів речовини в природних процесах [62], дає підставу стверджувати про його дискретність, а тому питання дискретності часу, що відповідає етапам розвитку біо-косних тіл заслуговує особливої уваги і розгляду.

Для підтвердження правильності зроблених висновків про існування дискретності часу за допомогою універсальної сталої $e^e=15,15$ нами розраховано новий ієрархічний ряд. Точка, що відповідає 4-м рокам помножена на e дає точку 60 років, а ряд набуває вигляду: 1 рік, 4 роки, 15 років, 60 років, що наближено співпадає з ієрархічним рядом зі знаменником $\lambda=3,8$. Поведінка складних нелінійних відкритих саморегульованих систем, до яких слід віднести ґрунти, підпорядковується ряду інших універсальних констант: $G=4,669...$, що лежить в основі геометричної прогресії і визначає послідовність подвоєння періоду біфуркації; друга $\alpha=2,503...$, яка є елементом циклів послідовності біфуркації подвоєння періоду між попередньою і наступною біфуркаціями. Постійні G , π , α , e^e дають можливість передбачити поведінку складних нелінійних систем у просторі та часі і виступають універсальними числами нарівні з числами e і π [307,

417]. На основі зазначених універсальних констант ми розрахували послідовність відрізків у часі:

- 1) 0, 8, 2, 4, 10, 25, 60, 150... років;
- 2) 1, 4, 15, 60, 225... років;
- 3) 1, 2, 6, 25, 120.... років;
- 4) 1, 4, 15, 60... років,

де 1, 2, 3, 4 — порядок рядів з різним значенням універсальних сталих по мірі наростання: α , λ , G , e^e .

Ряди з різним кроком дискретності можна застосувати при плануванні і постановці польових дослідів по вивченню впливу різних систем обробітку ґрунту на формування рівня родючості і часу. Для цього можна запропонувати універсальний ряд: 1, 4, 6, 10, 15, 25, 60, 120, 150, 220 років. Підкреслені значення основні. При оптимальному енергозабезпеченні культурного ґрунтоутворювального процесу потенційна і природна родючість та вихід сухої речовини основної продукції повинні змінюватися відповідно до дискретних рядів у часі (табл. 10.1).

Чим вищий ступінь самоорганізації та саморегуляції процесів та режимів в ґрунті, тим вищий рівень прояву природної потенційної та ефективної родючості — тим більш широкий крок дискретності часових рядів слід застосувати для оцінки зміни родючості чорноземів у часі.

З розглянутими вище властивостями ґрунту пов'язана дискретність підвищення рівня ефективної родючості з часом. Таких дискретних рубежів для 10-пільної сівозміни чотири: перший — після 4–5 років застосування ґрунтозахисних технологій відбувається відновлення природного статусу ґрунту як природного утворення. Приріст продуктивності при тих самих затратах зростає на 1,2–2,0 т/га з.о. порівняно з вихідними, або традиційними технологіями. Після 8–9 років впливу ґрунтозахисних технологій повністю відновлюється природний стан ґрунту, а його продуктивність стає менш залежною від погодно-кліматичних факторів. Продуктивність агроценозу зростає на 2,0–2,5 т/га з.о. Після 15 років застосування ґрунтозахисних технологій ґрунт як система виходить на рівень саморегуляції, самоорганізації та самозбереження процесів і режимів прояву розширеного відтворення родючості.

Аналогічній закономірності формування продуктивності агроценозів відбувається в агроценозах короткоротаційних сівозмін цент-

Таблиця 10.1. Дискретність продуктивності чорнозему типового середньогумусного легкоглинистого південного Лівобережного Лісостепу України (вихід, т/га кормових одиниць основної продукції)

Пройшло років від початку дослідів	Вихід продукції, т/га к. од.	Знаменники послідовностей відрізків часу			Відхилення, %
		"λ"=3,8	"α"=2,50	"G"=4,66	
Оранка на 22–32 см					
1	5,6	5,5	31,5	17,0	–1,8
2	18,2	20,8			–7,0
3	20,3				+2,5
4	31,0				+1,9
5	34,7				
6	46,5				
7	50,8				
8	56,8				
9	67,8				
10	78,9	78,9	78,8	79,2	
Безполицевий обробіток на 10–12 см					
1	6,10	6,0	34,5	18,6	–1,7
2	19,6	22,8			–5,4
3	21,6				+5,6
4	32,8				+5,6
5	36,6				
6	49,5				
7	53,8				
8	61,8				
9	74,8				
10	86,8	86,6	86,8	86,8	

ральної частини Лівобережного Лісостепу України. На контролі без добрив як у сівозміні з горохом, так і в сівозміні з травами виділено три періоди зміни урожайності в часі: 1–15-й рік — період безсинхронності зміни урожайності за різних систем обробітку; 15–24-й рік — період синхронізації зміни урожайності; 25–35-й рік — період експоненціального росту урожайності. У сівозміні з горохом період безсинхронності характеризується більш різкими відхиленнями урожайності відносно тренду, а період синхронізації більш значними відхиленнями урожайності за безполицевого і поверхневого обробітків.

Експоненціальне зростання характерне більш високим значенням урожайності за безполицевого і поверхневого обробітків.

У сівозміні з багаторічними травами період безсинхронності в зміні урожайності більш згладжений, а період синхронізації зміни урожайності має спадний характер з затухаючим відхиленням від тренда. Етап експоненціального зростання урожайності за спадним трендом з виходом урожайності зернових культур на початковий рівень. Точка перетину трендів урожайності припадає на 9–10-й рік, після чого урожайність зернових за безполицевого і поверхневого обробітків у сівозміні з горохом перевищує урожайність за оранки. У сівозміні з травами продуктивність зернових була вищою за весь період досліджень за безполицевого і поверхневого обробітків, а точка перетину трендів урожайності виявлена на 9–10-й рік, після якої перевагу по урожайності мав безполицевий обробіток. При внесенні мінеральних добрив динаміка урожайності зернових культур розділена на три етапи як і на контролі без добрив незалежно від типу сівозміни.

У сівозміні з горохом в період безсинхронної зміни урожайності (1–15 років) за різних способів обробітку ґрунту оранка переважала безполицевий і поверхневий обробітки, а відхилення урожайності від лінії тренду за безполицевого і поверхневого обробітків не співпадали з відхиленнями за систематичної оранки. У період синхронізації урожайності (16–24 років) відхилення від тренду досягали 3–9 т/га з поступовим зниженням урожайності, коливання якої відбувалося нижче тренду зміни урожайності. У період експоненціального росту урожайності (25–35 років) відмічено точку перетину трендів (28–29 років), після якої встановилася стійка тенденція зростання урожайності зернових за безполицевого і поверхневого обробітків. Коефіцієнт регресії в експоненціальному рівнянні тренда урожайності був вищим в 1,11–1,67 рази відносно оранки та безполицевого обробітку, хоча найвища урожайність зернових культур була за безполицевого обробітку. У сівозміні з багаторічними травами при внесенні подвійної дози добрив ($N_{62}P_{66}K_{82}$) синхронізація зміни урожайності досягається швидше, ніж у сівозміні з горохом, а точка перетину трендів урожайності зернових припадала на 10–11-ті роки від початку проведення досліджень. Крутизна зростання тренду за безполицевого обробітку була вищою у 2 рази, ніж за поверхневого обробітку, а за систематичної оранки тренд урожайності мав спадний характер.

Найвища урожайність зернових була за безполіцевого обробітку. В умовах центральної частини Лівобережного Лісостепу України на чорноземах типових малогумусних легкосуглинкових період синхронізації урожайності зернових культур за безполіцевого і поверхневого обробітків з урожайністю за систематичної оранки досягає 9–10-ти років проти 4–5-ти років на чорноземах типових середньогумусних легкоглинистих, а стійке зростання урожайності відносно оранки в 5-пільній сівоzmіні з горохом настає після 25-ти років систематичного виконання безполіцевого і поверхневого обробітків. При біологізації 5-пільної сівоzmіні за рахунок висіву багаторічних трав період синхронізації урожайності скорочується до 5–8-ми років, а після 10–11-го року продуктивність зернових культур була вищою за безполіцевого та поверхневого обробітків. В умовах центральної частини Лівобережного Лісостепу України найвища продуктивність зернових культур була при систематичному виконанні безполіцевого обробітку при внесенні $N_{31-62}P_{33-66}K_{41} + 7$ т/га побічної продукції в якості органічних добрив.

Відтворення природного статусу чорнозему під впливом ґрунтозахисних технологій пов'язано з фактором часу — чим далі відходить в часі відмова від інтенсивного обробітку ґрунту (оранка) і початку застосування ґрунтозахисних технологій в агроценозах, тим вищий рівень відтворення чорнозему, прояв його потенціальної і ефективної родючості, і, як наслідок, рівень продуктивності культур в агроценозах.

Порушення рівня самоорганізації чорнозему призводить до руйнування внутрішньо ґрунтових зв'язків, для відтворення яких потрібен час, а тому, застосовуючи ґрунтозахисні системи обробітку потрібно враховувати фактор часу. Для проведення досліджень, пов'язаних з вивченням різних антропогенних впливів на формування родючості ґрунтів у часі запропоновано універсальний ряд дискретних часових відрізків: 1 рік, 4, 6, 8–10, 15, 25, 60, 150 років. Підкреслені значення основні.

Відтворення природної родючості чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України під впливом безполіцевого обробітку пов'язано з фактором часу — чим далі відходить в часі відмова, тим вищий рівень відтворення родючості чорноземів типових. Таких рубежів 5: перший — після 4–5 років відбувається відновлення природного статусу ґрунту, як природного утворення; після 8–10 років

впливу ґрунтозахисних технологій відновлюється природний стан ґрунту, а його продуктивність стає менш залежною від погодно-кліматичних факторів; після 10–15 років застосування ґрунтозахисних технологій, ґрунт як система, виходить на високий рівень саморегуляції та самозбереження процесів та режимів прояву розширеного відтворення родючості; на 20–25 рік застосування безполіцевого обробітку забезпечується максимальна автономізація товщі чорнозему від погодно-кліматичних факторів, а після 30–35 років максимально відновлюються процеси ґрунтоутворення чорноземів типових в агроценозах.

РИЗИКИ ПРИ ПЕРЕХОДІ ДО БЕЗПОЛИЦЕВОГО ОБРОБІТКУ ТА ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ ЙОГО ВИКОНАННЯ НА ЧОРНОЗЕМАХ ТИПОВИХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

11.1. Рівень агрофізичної самоорганізації — критерій для переходу до мінімального обробітку

Різна реакція сільськогосподарських культур на неоднорідність орного шару чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України дозволяє стверджувати, що найбільш повне відтворення та реалізація ефективної родючості в Лісостепу України забезпечується різноглибинним обробітком ґрунту, який у більшості випадків, виконується комбінуванням різних способів обробітку: полицевого, безполицевого, чизельного та інших. Загальновизнаним є переконання в тому, що вирівнювання орного шару по родючості найдоцільніше проводити 2–3 рази за ротацію культур сівозміни в поєднанні з внесенням оптимальних доз органічних і мінеральних добрив та застосуванні засобів хімічного захисту рослин.

Диференціація гумусового горизонту чорноземів типових за елементами родючості в напрямку концентрації останніх у 0–10 см шарі є природним ґрунтотворним процесом. Різна реакція культур сівозміни на концентрацію елементів родючості в 0–10 см шарі визначається порушенням рівня самоорганізації чорнозему від довгострокового інтенсивного обробітку. З цієї причини в ланцюгу ґрунт–рослина–атмосфера порушується здатність ґрунтового середовища реагувати на екстремальність погодно-кліматичних умов, що в результаті порушує відповідність ґрунтового середовища умовам оптимального росту та розвитку рослин. Для чорноземів типових існує загальний критерій, відповідно до якого з’являється можливість здійснити мінімаліза-

цію основного обробітку в сівозміні до глибини 5–12 см, суть якого криється в тому, що на чорноземах з вмістом гумусу 4–4,5 % і вище рівноважна щільність будови співпадає з оптимальною [65].

В умовах Лівобережного Лісостепу України на чорноземах типових умови реалізації критерію для мінімалізації обробітку в сівозмінах трапляються досить часто. Проте, не дивлячись на оптимальне співвідношення ґрунтових параметрів, у перші роки переходу на систематичний мінімальний обробіток чорноземів типових, які знаходяться в стані крайньої агрофізичної деградації, можуть виникати обставини, що призводять до часткової, або повної дискредитації основної ідеї мінімального обробітку цих ґрунтів.

Особливо показово це проявляється в умовах різкого погіршення погодно-кліматичних умов до критичного рівня, коли коефіцієнт зволоженості за Шашко (КЗ) знижується до значень 0,55, а гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК) знижується до значень 0,5–0,61 і нижче протягом 1–1,5 місяців періоду вегетації польових культур. Спостереження показують, що коли погодно-кліматичні умови досягають критичних показників у травні–червні слід чекати зниження продуктивності посівів зерно-бобових культур, а якщо критичність умов росту для культурних рослин зберігається 2–2,5 місяці, то знижується продуктивність посівів кукурудзи на зерно та силос, соняшнику, цукрового буряку.

За реакцією на критичність погодно-кліматичних умов росту на 2-, 3-річних агротехнічних фонах систематичного безполицевого мінімального обробітку на чорноземах, які знаходяться в стані агрофізичної деградації, польові культури можна розташувати в наступному порядку: кукурудза на зерно та силос, соняшник, цукрові буряки, горох, озима пшениця. Серед просапних культур цукровий буряк є найбільш стійкою культурою по відношенню до критичності погодно-кліматичних умов росту, що пов'язано з особливостями росту самої культури, яка починає формувати коренеплід, активно нарощувати його масу з другої половини серпня до кінця жовтня.

Спостереження, які було проведено в перші 3 роки, показали, що на 2-, 3-річних фонах безполицевого обробітку на 5–12 см в умовах коли ГТК в травні–червні знижувався до значень 0,3–0,5 (дуже посушливі умови), а кількість опадів в цей період становила 25–30 % від норми, урожайність озимої пшениці знижувалась на 0,20–0,30 т/га, одnorічних трав — на 1,0–1,5, соняшнику — на 0,15–0,2, кукурудзи

на силос — 1,0–1,5, кукурудзи на зерно — на 0,3–0,5 т/га. Особливо сильне пригнічення в розвитку та продуктивності рослини виявляли на варіантах, де вносились високі дози мінеральних добрив. На варіантах, де виконувалась оранка і глибокий безполіцевий обробіток на глибину 22–32 см посіви польових культур були менш пригніченими навіть на варіантах, де вносились високі дози добрив. Імовірність повторення сухих та посушливих років для Лівобережного Лісостепу України становить 31–36 %, а в останні десятиліття — 35–40 %, що свідчить про великий ризик зниження продуктивності посівів польових культур у перші роки застосування систематичного мінімального безполіцевого обробітку в різноротаційних сівозмінах.

Ефективність мінімального безполіцевого обробітку на чорноземах визначається кількістю та потужністю шару мульчі з пожнивних решток та соломистої частини гною. Необхідно, щоб поверхня поля після сівби весною була вкрита пожнивними рештками на 30–40 %, а кількість стерньових решток досягала 250–350 шт/м². Для виконання цієї умови необхідно після збирання попередника залишити на полі 30–40 % побічної від загальної біомаси урожаю. Проте спостереження показують, що на чорноземах, які знаходяться в освоєній стадії і для яких головним прийомом підвищення їх продуктивності залишається “фізіація” — поліпшення структури та підвищення розпушеності для мобілізації природної родючості, мульчування поверхні поля протягом вегетаційного періоду має обмежений вплив у плані покращення ґрунтових умов росту рослин.

Важливу роль в процесі відповідної реакції ґрунтового середовища на стресовість погодно-кліматичних умов відіграє агрофізична самоорганізація чорнозему, як одна з складових загального рівня самоорганізації. Тому на чорноземах з високим рівнем агрофізичної деградації на поверхні поля слід залишати більшу кількість органічних решток, що створюючи захисний мульчуючий шар, тим самим підвищуючи її потенційні можливості в захисті від деградаційних та ерозійних процесів і покращенні умов росту сільськогосподарських культур. При підвищенні рівня агрофізичної самоорганізації та зниженні ступеня агрофізичної деградації кількість мульчуючих решток на поверхні поля можна дещо зменшувати, покладаючи покращення умов росту рослин на оптимальну агрофізичну будову ґрунтової товщі чорнозему типового. Дольова участь мульчі на поверхні поля і рівня агрофізичної самоорганізації ґрунтової товщі в процесі стабіліза-

ції та оптимізації зв'язків у системі ґрунт–рослина–атмосфера при зниженні рівня агрофізичної деградації чорнозему вирівнюється і, на певному етапі, повинно схилитися в бік значення рівня самоорганізації ґрунту. Наші багаторічні спостереження показали, що пожнивні рештки на поверхні поля зберігаються до середини червня, а до середини липня практично вся мульча розкладається і її захисна функція зводиться практично до нуля. По цій причині, в період найбільш посушливого періоду року головну роль в поліпшенні ґрунтових умов росту відіграє самоорганізація чорнозему.

Перед закладкою досліду вміст гумусу в 0–30 см шарі чорнозему був на оптимальному рівні: 5,5–5,8 %; агрономічно цінних водостійких агрегатів і структурних окремостей містилося 40–45 % та 65–70 % відповідно. Проте виявилось, що важливою ознакою рівня самоорганізації 0–30 см шару чорнозему є не загальна кількість агрономічно цінних агрегатів і структурних окремостей, а їх перерозподіл за розмірами в межах інтервалу, який відповідає агрономічно цінним агрегатам. Систематичне застосування оранки в сівозміні при достатньому (10–12 т/га) внесенні гною та мінеральних добрив сприяє перерозподілу водостійких агрегатів і структурних окремостей в інтервалі дрібних фракцій: 0,25–2 та 0,25–3 мм відповідно. При наростаючих процесах дегуміфікації і агрофізичної деградації процес погіршення структурно-агрегатного складу прогресує, що пов'язано з підвищенням вмісту водостійких агрегатів та структурних окремостей розміром <1 мм. У процесі природного ґрунотворного процесу формування структурного складу відбувається у зворотному напрямку: утворюються “переважаючі” розміри структурних окремостей і водостійких агрегатів в інтервалі 3–5 та 0,5–3 мм відповідно.

В табл. 11.1 представлено орієнтовні інтервали вмісту структурних окремостей та водостійких агрегатів у шарі 0–30 см, які відповідають різним рівням родючості чорнозему. Для переходу до систематичного безполицевого обробітку на 5–12 см під всі культури у сівозміні, ґрунт, який знаходиться у крайньому стані агрофізичної деградації, необхідно 4–5 років систематичного застосування різноглибинного безполицевого обробітку — для забезпечення стійкого виходу на середній рівень самоорганізації або привести чорнозем до стану простого відтворення ґрунтової родючості. На цьому етапі число глибоких обробітків за ротацію культур у сівозміні можна знизити до двох–трьох. На 8–9-й рік систематичного безполицевого обробітку,

Таблиця 11.1. Вплив безполіцевого обробітку на рівень агрофізичної самоорганізації чорноземів типових в різноротаційних сівозмінах Лівобережного Лісостепу з моменту переходу на беззмінне застосування

Рівень агрофізичної самоорганізації, кількість років після відмови від оранки	Розмір агрегатів, мм; вміст, %		Рівень мінімалізації обробітку ґрунту у сівозміні	Рівень ґрунтової родючості
	структурних окремоностей: >0,25 2,0–5,0	водостійких агрегатів: >0,25 0,5–3,0		
Низький, 1–5 років	60,0–65,0 25,0–30,0	менше 45,0 20,0–25,0	Різноглибинний безполіцевий обробіток	Спадний рівень
Середній, 5–8 років	65,0–75,0 35,0–45,0	55,0–65,0 45,0–50,0	1–3 рази за ротацію глибокий безполіцевий обробіток	Просте відтворення
Високий, 9–15 років	80,0–85,0 45,0–55,0	70,0–75,0 55,0–60,0	Систематичний поверхневий та мінімальний обробітки	Розширене відтворення

коли агрофізична самоорганізація досягне високого рівня, можна без ризику переходити до систематичного мінімального безполіцевого обробітку в сівозміні.

Для підтвердження наведеного висновку ми проаналізували зміни структурно-агрегатного складу 0–30 см шару чорнозему під впливом різних систем обробітку з моменту закладки досліду. Виявилось, що за перші чотири роки впливу різних систем обробітку середній вміст агрономічно цінних структурних окремоностей і водостійких агрегатів у шарі 0–30 см при оранці становив 60–70 % та 45–55 %. В сумі агрономічно цінних агрегатів вміст фракцій розміром 2–5 та 0,5–3 мм становив 25–35 та 25–45 % відповідно до структурних окремоностей та водостійких агрегатів. При різноглибинному безполіцевому обробітку сума агрономічно цінних агрегатів становила — 65–80 (при сухому розсіві) та 50–55 % (при мокрому розсіві). З них структурних окремоностей розміром 2–5 мм було 35–45 %, а водостійких агрегатів

0,5–3 мм — 30–35 %. При систематичному застосуванні мілкого безплужного обробітку на 10–12 см сума агрономічно цінних структурних окремоностей та водостійких агрегатів була на рівні 65–70 та 55–60 %, доля фракцій, що визначають рівень самоврядованості — 32–37 та 30–38 % відповідно. Наведені дані свідчать про те, що в перші 4 роки найбільш ефективним є вплив різноглибинного обробітку без обертання скибки.

Лише на 6–8-й рік проведення дослідів зафіксовано істотне покращення структурно-агрегатного складу від систематичного застосування ґрунтозахисних технологій, в основі яких лежить розпушення ґрунту на 10–12 см, вміст агрономічно цінних структурних окремоностей у 0–30 см шарі становив 70–80 проти 68–72 % на оранці та різноглибинному безплужному обробітку. Доля окремоностей 2–5 мм становила 32–38 проти 24–30 % відповідно до обробітку. Аналогічно змінився агрегатний склад: 78–80 % водостійких агрономічно цінних агрегатів проти 65–75 % при глибоких обробітках. Вміст фракції водостійких агрегатів 0,5–3 мм становив 60–65 % проти 45–55 % відповідно до обробітку.

На основі проведених досліджень і зроблених висновків стає зрозумілою природа нестабільної поведінки ґрунту, як системи, в перші роки систематичного застосування мінімального безполіцевого обробітку чорноземів, які знаходяться в стадії агрофізичної деградації, в умовах, що характеризуються критичністю погодно-кліматичних факторів. Низький вміст водорегулювальних фракцій структурних окремоностей та водостійких агрегатів у загальній сумі агрономічно цінних агрегатів знижує продуктивне використання вологи більше ніж на 30 %. При систематичній оранці 0–30 см шар не має диференціації за щільністю будови, яка характерна для чорноземів природних ценозів. Часткова дегуміфікація та агрофізична деградація сприяють формуванню грудкувато-ущільненої будови гумусового горизонту, тоді як в природних ценозах та в умовах довгострокового безполіцевого обробітку формується дрібно грудкувато-пухка будова ґрунту. Після припинення застосування систематичної оранки необхідно 3–4 роки для отримання оптимальної будови 0–30 см шару чорнозему за принципом: пухкий (0–10 см) — ущільнений (10–20 см) — пухкий (20–30 см). У період формування диференціації 0–30 см шару за щільністю ґрунь, як система, дуже нестійка по відношенню до зміни погодно-кліматичних факторів у бік їх погіршення. Особливо

відчутно це, коли чорноземи знаходяться в крайньому ступені агрофізичної деградації.

До середини літа щільність може досягати значень $1,38\text{--}1,40\text{ г/см}^3$ і вище, а загальна шпаруватість може знижуватись до $40\text{--}45\%$. Невідновлена здатність взаємопов'язаної пульсації річних та сезонних циклів гумусу та агрофізичних властивостей, поверхнева заробка мінеральних добрив, яка стимулює розвиток кореневої системи за типом дернини, в критичних погодно-кліматичних умовах порушує збалансованість в системі ґрунт-рослина-атмосфера. При нестабільній поведінці ґрунту, як системи, потенційні можливості шару мульчі, що залишається на поверхні поля, досить обмежені, а саморегулююча здатність чорнозему знаходиться на досить низькому рівні. З цієї причини, різноглибинний безполіцевий обробіток, буде “буферним” періодом при переході до повної мінімалізації обробітку чорнозему.

11.2. Довгостроковий вплив способів обробітку і удобрення на продуктивність зернових культур у сівозмінах

Динаміка урожайності зернових культур за 2001–2010 роки в 5-пільних зерно-просапних сівозмінах різного типу на варіантах без внесення добрив показала, що в сівозміні з горохом за систематичної оранки тренд урожайності був зростаючим, а за безполіцевого і поверхневого обробітків тренди набували спадного характеру, про що свідчать коефіцієнти регресії в експоненціальних рівняннях ліній трендів (рис. 11.1).

У сівозміні з багаторічними травами (рис. 11.2) лінії трендів урожайності зернових культур мали зростаючий характер незалежно від способу обробітку в сівозміні. За систематичної оранки коефіцієнт регресії в експоненціальних рівняннях трендів були вищими в 2,5 раза, ніж за поверхневого обробітку, а величина вільного члена рівняння при змінній за безполіцевого і поверхневого обробітків була вищою в $1,22\text{--}1,25$ раза, ніж за оранки, що пов'язано з формуванням більш високої врожайності зернових культур: $3,44\text{ т/га}$ за оранки проти $3,85$ і $3,73\text{ т/га}$ за безполіцевого і поверхневого обробітків (табл. 11.2).

При цьому урожайність зернових культур була вищою за безполіцевого і поверхневого обробітків: $4,58\text{ т/га}$ проти $5,01\text{--}5,07\text{ т/га}$ відповідно (табл. 11.3).

У цілому за 7 ротаций культур в лінії трендів урожайності зернових культур у сівозміні з горохом незалежно від способу обробітку ґрунту

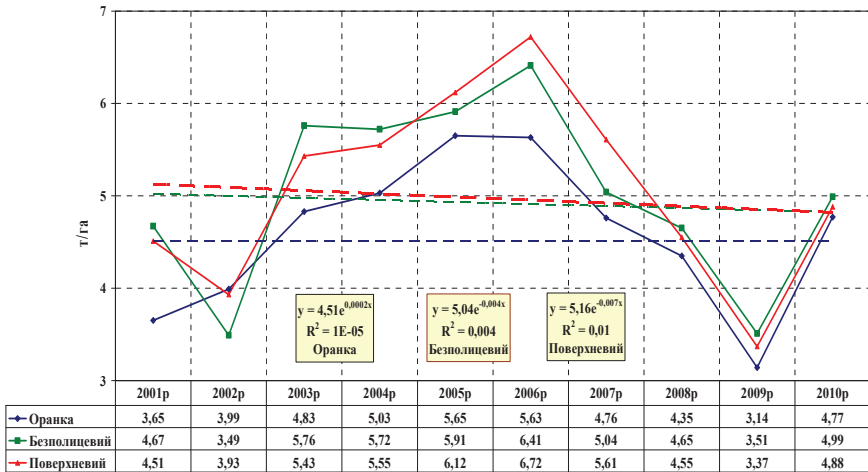


Рис. 11.1. Динаміка урожайності зернових культур за 6–7 ротацію в 5-пільній сівозміні з горохом при різних способах обробітку без внесення добрив

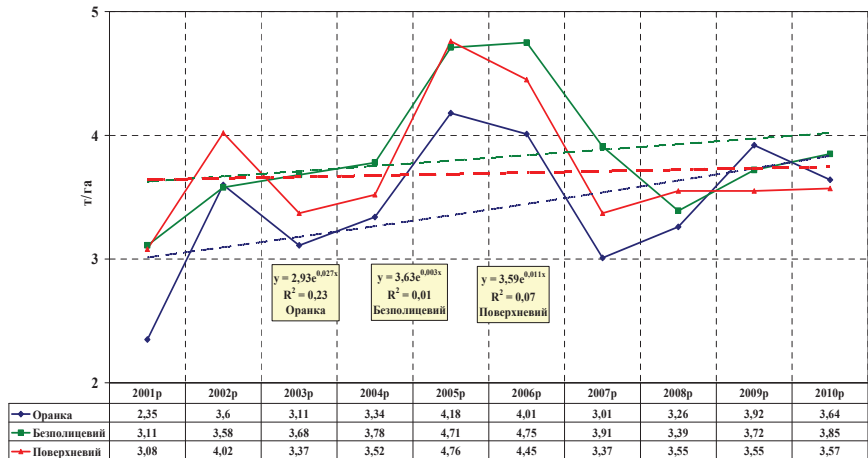


Рис. 11.2. Динаміка урожайності зернових культур за 6–7 ротацію в 5-пільній сівозміні з багаторічними травами при різних способах обробітку без внесення добрив

Таблиця 11.2. Довгостроковий вплив різних способів і систем обробітку та удобрення на продуктивність зернових культур 5-пільній зерно-просапній сівозміні: зернові — до 60 %; технічні — до 20 %; зерно-бобові — до 20 %

Спосіб обробітку	Урожайність, т/га, за:					
	2001-2010 рр.			1976-2010 рр.		
	середня урожайність	надбавка від:		середня урожайність	надбавка від:	
		обро- бітку	обробітку + добрива		обро- бітку	обробітку + добрива
Без внесення мінеральних добрив (контроль)						
Оранка	4,58	—	—	4,03	—	—
Безполіцевий	5,02	+0,44	—	4,30	+0,27	—
Поверхневий	5,07	+0,49	—	4,15	+0,12	—
$N_{31}P_{33}K_{41}$ — одинарна доза добрив						
Оранка	6,51	—	+1,93	5,57	—	+1,54
Безполіцевий	6,48	-0,03	+1,46	5,37	-0,20	+1,07
Поверхневий	6,46	-0,05	+1,39	5,32	-0,25	+1,19
$N_{62}P_{66}K_{82}$ — подвійна доза добрив						
Оранка	6,69	—	+2,11	5,57	—	+1,54
Безполіцевий	6,67	-0,02	+1,65	5,49	-0,08	+1,19
Поверхневий	6,47	—	—	5,43	—	—
$N_{62}P_{66}K_{82}$ — подвійна доза добрив						
Оранка	6,60	—	+2,02	5,57	—	+1,57
Безполіцевий	6,61	+0,01	—	5,45	-0,12	—
Поверхневий	6,45	-0,15	+1,35	5,32	-0,25	+1,19
НІР _{0,5}		0,21	0,55		0,25	0,36

мали зростаючий характер, крутизна зростання яких була більшою за безполіцевого і поверхневого обробітків, тоді як за оранки лінія тренду мала більш випогонений характер (рис. 11.3).

Урожайність зернових культур через дві ротації після початку досліджень перевищила урожайність за оранки, а в середньому вона була вищою за безполіцевого і поверхневого обробітків: 4,03 т/га проти 4,30 і 4,15 т/га.

У сівозміні з багаторічними травами (рис. 11.4) тренди урожайності зернових культур мали спадний характер незалежно від способу обробітку, але крутизна спаду трендів за поверхневого і безполіцевого



Рис. 11.3. Динаміка урожайності зернових культур за 7 ротаций в короткоротаційній сівоzmіні з горохом при різних системах обробітку без внесення добрив.

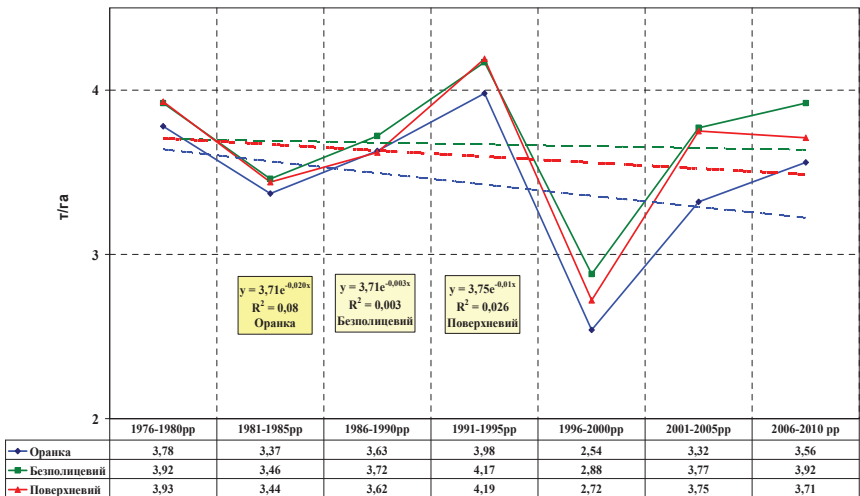


Рис. 11.4. Динаміка урожайності зернових культур за 7 ротаций в 5-пільній сівоzmіні з багаторічними травами при різних системах обробітку без внесення добрив

обробітків була меншою (6,7 і 2 рази за коефіцієнтами регресії при змінних експоненціальних рівнянь трендів). При цьому урожайність за період спостережень була вищою за безполіцевого і поверхневого обробітків: 3,69 і 3,62 т/га проти 3,45 т/га за оранки (табл. 11.1–11.3).

При внесенні одинарної дози добрив ($N_{31}P_{33}K_{41}$) у сівозміні з горохом тренди урожайності зернових культур були зростаючими незалежно від способу обробітку ґрунту (рис. 11.5 і 11.6). У 2001 році найвища продуктивність зернових культур була за безполіцевого обробітку, а за оранки та поверхневого обробітку урожайність зернових була суттєво нижчою: 6,15 т/га проти 5,43 т/га і 4,68 т/га. у 2005 році зростаючі тренди урожайності зернових за оранки та безполіцевого обробітку мали точку перетину. У подальшому в 2010 році найвищою урожайність виявилася за систематичної оранки (7,41 т/га), тоді як за безполіцевого та поверхневого обробітків вона була нижчою: 6,97 та 6,75 т/га. У цілому за 7 ротацій тренди урожайності зернових культур були зростаючими незалежно від способу обробітку ґрунту, а урожайність була вищою за систематичної оранки (5,57 т/га) проти



Рис. 11.5. Динаміка урожайності зернової групи культур за 6–7 ротації в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з горохом при різних способах обробітку при внесенні $N_{31}P_{33}K_{44}$ на 1 га с.з.

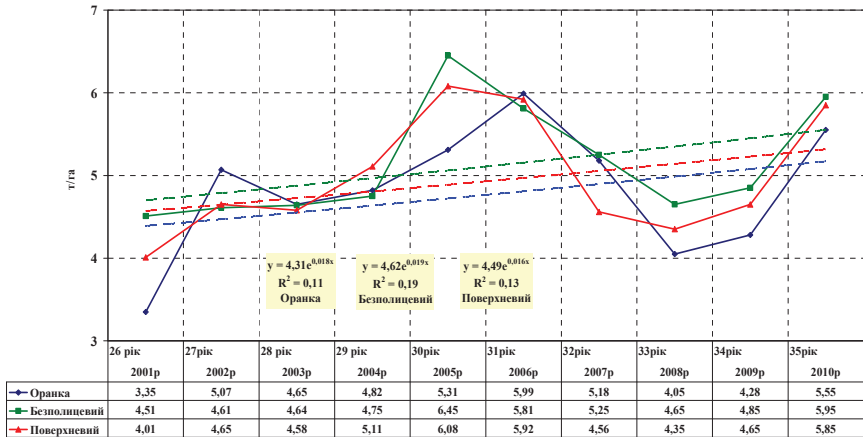


Рис. 11.6. Динаміка урожайності зернової групи культур за 6–7 ротацій в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з багаторічними травами при різних способах обробітку при внесенні $N_{31}P_{33}K_{44}$ на 1 га с.з.

5,37 т/га (безполицевий обробіток) та 5,31 т/га (поверхневий обробіток) (табл. 11.3).

У сівозміні з багаторічними травами за 6–7 ротацію (2001–2010 рр.) тренди урожайності були зростаючими (рис. 11.6).

Середня урожайність зернових культур найвищою була за безполицевого обробітку 5,15 т/га та поверхневого — 4,98 т/га, за оранки — 4,83 т/га. У цілому за 7 ротацій урожайність зернових найвищою виявилася за безполицевого і поверхневого обробітків: 4,78 т/га та 4,70 т/га проти 4,67 т/га за оранки.

Тренди урожайності за безполицевого і поверхневого обробітків були зростаючими, тоді як за оранки — спадними. Після двох ротацій тренди урожайності перетиналися і в подальшому за безполицевого і поверхневого обробітків були зростаючими. Найбільша крутизна зростання тренду була за безполицевого обробітку: коефіцієнт регресії при змінній в експоненціальному рівнянні тренду був вищим в 5,4 раза ніж за поверхневого обробітку. У сівозміні з горохом при внесенні подвійної дози добрив ($N_{62}P_{66}K_{82}$) лінії трендів урожайності зернових культур при виконанні оранки, безполицевого та поверхневого обробітків за 2001–2010 роки мали зростаючий характер незалежно від способу

Таблиця 11.3. Довгостроковий вплив різних способів і систем обробітку та удобрення на продуктивність зернових культур у 5-пільній зерно-просапній сівозміні: зернові — до 60 %; технічні — до 20 %; зерно-бобові — до 20 %

Спосіб обробітку	Урожайність, т/га, за:					
	2001-2010 рр			1976-2010 рр		
	середня урожайність	надбавка від:		середня урожайність	надбавка від:	
		обро- бітку	обробітку + добрива		обро- бітку	обробітку + добрива
Без внесення мінеральних добрив (контроль)						
Оранка	4,58	—	—	4,03	—	—
Безполицевий	5,02	+0.44	—	4,30	+0,27	—
Поверхневий	5,07	+0,49	—	4,15	+0,12	—
$N_{31}P_{33}K_{41}$ — одинарна доза добрив						
Оранка	6,51	—	+1,93	5,57	—	+1,54
Безполицевий	6,48	-0,03	+1,46	5,37	-0,20	+1,07
Поверхневий	6,46	-0,05	+1,39	5,32	-0,25	+1,19
$N_{62}P_{66}K_{82}$ — подвійна доза добрив						
Оранка	6,69	—	+2,11	5,57	—	+1,54
Безполицевий	6,67	-0,02	+1,65	5,49	-0,08	+1,19
Поверхневий	6,47	—	—	5,43	—	—
$N_{62}P_{66}K_{82}$ — подвійна доза добрив						
Оранка	6,60	—	+2,02	5,57	—	+1,57
Безполицевий	6,61	+0,01	—	5,45	-0,12	—
Поверхневий	6,45	-0,15	+1,35	5,32	-0,25	+1,19
НІР _{0,5}		0,21	0,55		0,25	0,36

обробітку ґрунту (рис. 11.7). Урожайність зернових культур становила 6,67–6,69 т/га за оранки та безполіцевого обробітку (табл. 11.3).

Починаючи з 2006 року лінія тренду урожайності за безполіцевого обробітку мала більш випогонений характер, ніж за оранки. У цілому за 7 ротацій, починаючи з 5 ротації лінії тренду урожайності за безполіцевого обробітку перевершили оранку, а за поверхневого обробітку — в 6 ротації.

У сівозміні з травами за 2001–2010 роки тренди зростання врожайності були ідентичними незалежно від способу обробітку ґрунту, що свідчить про однакову продуктивність зернових культур. Анало-

Таблиця 11.4. Довгостроковий вплив різних способів і систем обробітку та удобрення на продуктивність зернових культур у 5-пільній зерно-просапній сівозміні: зернові — до 60 %; технічні — до 20 %; кормові — до 20 %.

Спосіб обробітку	Урожайність, т/га, за:					
	2001–2010 рр			1976–2010 рр		
	середня урожайність	надбавка від:		середня урожайність	надбавка від:	
		обро- бітку	обробітку + добрива		обро- бітку	обробітку + добрива
Без внесення мінеральних добрив (контроль)						
Оранка	3,44	—	—	3,43	—	—
Безполицевий	3,85	+0,41	—	3,69	+0,26	—
Поверхневий	3,72	+0,28	—	3,62	+0,19	—
$N_{31}P_{33}K_{41}$ — одинарна доза добрив						
Оранка	4,83	—	+1,39	4,69	—	+1,26
Безполицевий	5,15	+0,32	+1,30	4,77	+0,08	+1,08
Поверхневий	4,48	–0,35	+0,76	4,71	+0,02	+1,09
$N_{62}P_{66}K_{82}$ — подвійна доза добрив						
Оранка	5,20	—	+1,76	4,74	—	+1,31
Безполицевий	5,19	–0,01	+1,34	4,80	+0,06	+1,11
Поверхневий	5,20	—	—	4,70	—	—
$N_{62}P_{66}K_{82}$ — подвійна доза добрив						
Оранка	5,20	—	+1,76	4,74	—	+1,31
Безполицевий	5,17	–0,03	—	4,67	–0,07	—
Поверхневий	5,19	–0,01	+1,47	4,70	–0,04	+1,08
НІР ₀₇₅		0,30	0,28		0,23	0,25

гічний висновок зроблено відносно урожайності зернових культур за 7 ротаций (рис. 11.8).

Порівняльна оцінка продуктивності зернових культур при комбінуванні обробітку під культури в короткоротаційних сівозмінах, коли під зернові і зернобобові культури виконується безполицевий та поверхневий обробітки, а під буряки — оранка показала, що за 2001–2010 роки в сівозміні з горохом найвища продуктивність була за оранки і безполицевого обробітку: 6,60 і 6,61 т/га.

За поверхневого обробітку виявлено стійку тенденцію до зниження продуктивності зернових культур на 0,15 т/га. Тренди урожайності

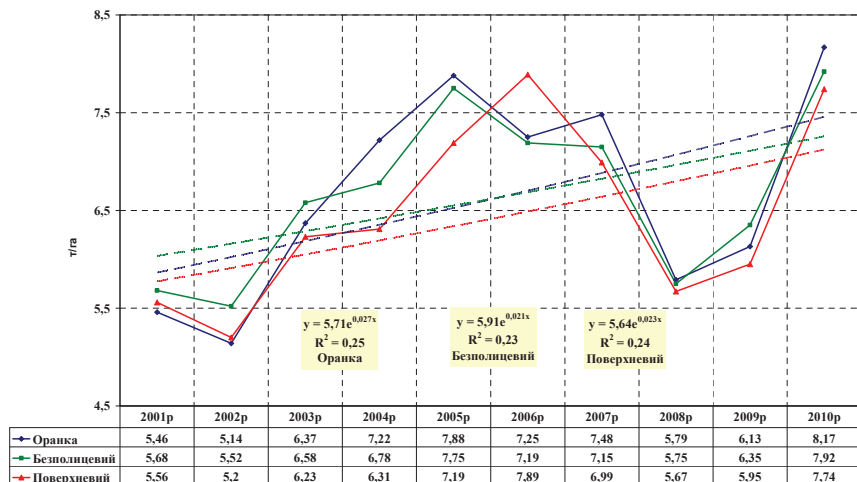


Рис. 11.7. Динаміка урожайності зернових культур в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з горохом за 6-7 ротацію при внесенні $N_{62}P_{66}K_{82}$ на 1 га с.з.

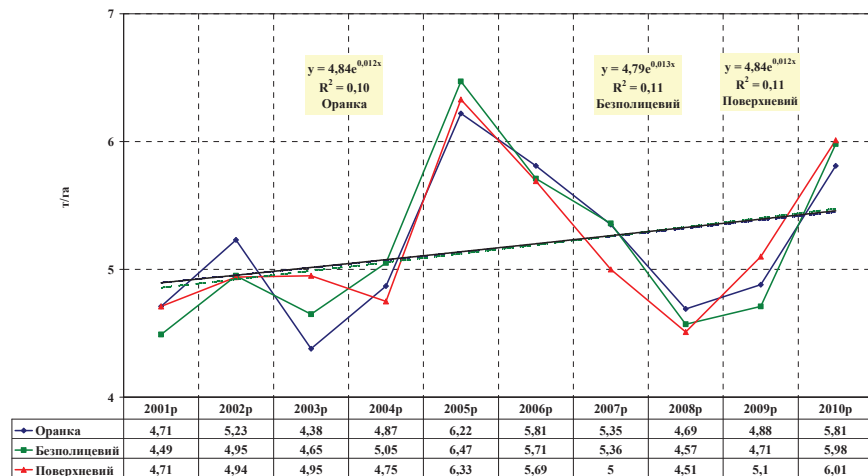


Рис. 11.8. Динаміка урожайності зернових культур в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з багаторічними травами за 6-7 ротацію при внесенні $N_{62}P_{66}K_{82}$ на 1 га с.з.

АГРОГЕНЕЗ ЧОРНОЗЕМУ

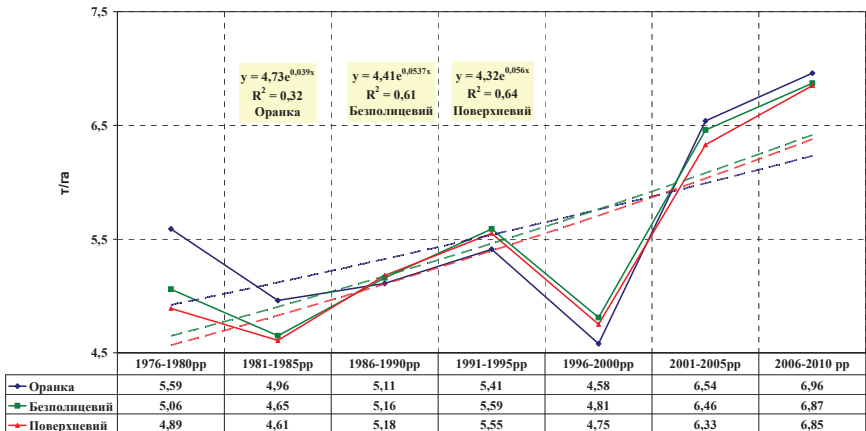


Рис. 11.9. Динаміка урожайності зернових культур в 5-пільній зерно-просапній сівоzmіні з горохом за 7 ротацій при внесенні $N_{62}P_{66}K_{82}$ на 1 га с.з.

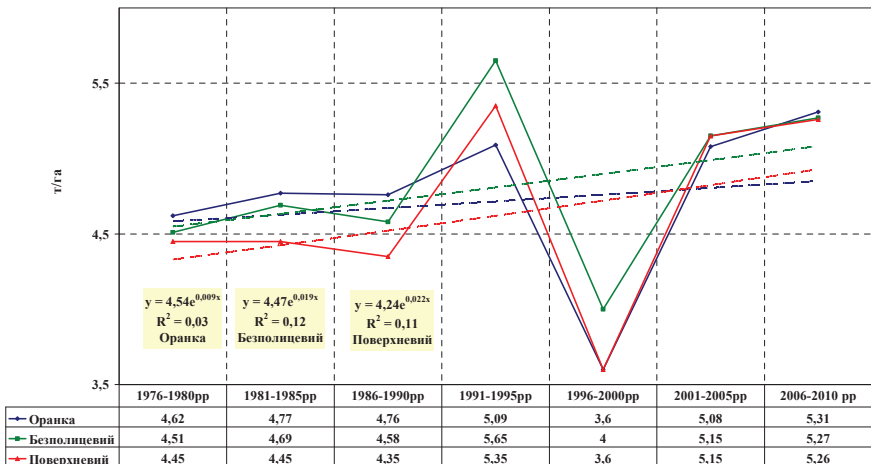


Рис. 11.10. Динаміка урожайності зернових культур в 5-пільній зерно-просапній сівоzmіні з багаторічними травами за 7 ротацій при внесенні $N_{62}P_{66}K_{82}$ на 1 га с.з.

зернових культур незалежно від способу обробітку мали зростаючий характер, але за оранки і безполіцевого обробітку крутизна трендів була суттєво вищою в порівнянні з поверхневим обробітком.

У цілому за 7 ротацій тренди урожайності зернових культур були зростаючими незалежно від способу обробітку ґрунту. За систематичної оранки найвища врожайність зернових була в першій ротації: 5,59 т/га, за безполіцевого і поверхневого обробітків вона була нижчою на 0,64 т/га. за безполіцевого і поверхневого обробітків крутизна зростання трендів за коефіцієнтами регресій в експоненціальних рівняннях трендів була вищою в 1,5–2 рази у порівнянні з оранкою (рис. 11.9 і 11.10).

За систематичної оранки після 32 років досліджень тренд зростання врожайності перевищив безполіцевий обробіток і на кінець 7 ротації перевищив урожайність за безполіцевого і поверхневого обробітків на 0,62 і 0,90 т/га.

Тренд урожайності зернових за безполіцевого комбінованого обробітку після третьої ротації мав точку перетину з трендом за поверхневого обробітку (5,2 т/га), а на 5 ротацію точку перетину з трендом урожайності за оранки (5,8 т/га). За 7-му ротацію було отримано найвищу врожайність: 7,07 т/га проти 6,96 і 6,75 т/га за оранки і поверхневого обробітку (рис. 11.11).

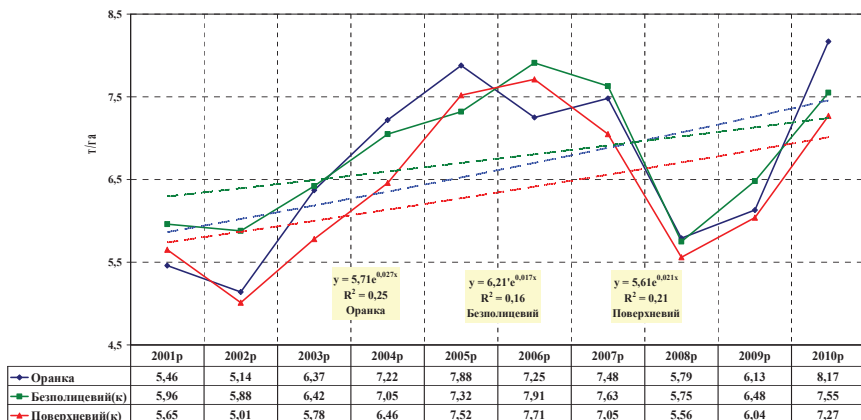


Рис. 11.11. Динаміка урожайності зернових культур в 5-пільній зерно-просапній сівозміні з горохом за 6–7 ротацією при комбінуванні ґрунтозахисного обробітку з оранкою при внесенні $N_{62}P_{66}K_{82}$ на 1 га с.з.

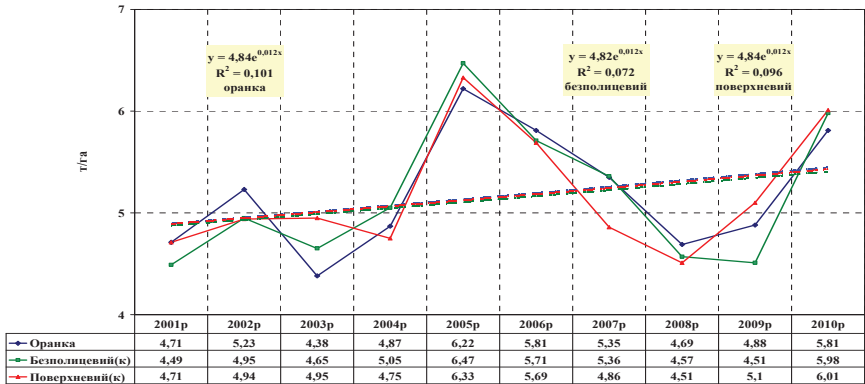


Рис. 11.12. Динаміка урожайності зернових культур в 5-пільній зерно-просапній сівоzmіні з багаторічними травами за 6–7 ротацією при комбінуванні ґрунтозахисного обробітку з оранкою при внесенні $N_{62}P_{66}K_{82}$ на 1 га с.з.

Найвищою урожайність була за оранки та безполицевого обробітку (5,57 і 5,45 т/га), тоді як за поверхневого обробітку вона була нижчою на 0,25 т/га. У цілому за 7 ротацій за трендами урожайності і продуктивності найбільш ефективним виявився безполицевий обробіток.

У сівоzmіні з багаторічними травами тренди урожайності зернових культур збігалися, а середня урожайність за 2001–2011 роки була однаковою — 5,17–5,20 т/га. У цілому за 7 ротацій тренди урожайності зернових культур незалежно від способу обробітку були зростаючими, а крутизна трендів за коефіцієнтами регресій в експоненціальних рівняннях трендів була вищою за безполицевого і поверхневого обробітків в 1,4–2,2 раза. За перші 3 ротації урожайність зернових культур була вищою за оранки, а після 4 ротації перевага по урожайності була за безполицевого і поверхневого обробітків. У середньому за 7 ротацій в зерно-просапній сівоzmіні урожайність зернових культур виявилася однаковою 4,67–4,74 т/га (рис. 11.12). На рис. 11.11 і 11.12 показано динаміку урожайності зернових культур за 35 років досліджень в 5-пільних зерно-просапних сівоzmінах різного типу.

На основі комплексних багаторічних (1979–2014 рр.) досліджень зроблено теоретичне та експериментальне обґрунтування сприйняття сукупності ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на безполицевому обробітку з поверхневим загортанням кореневих, післяжнивних решток, побічної продукції, гною та мінеральних добрив, як детермінувального фактора відтворення (моделювання) природних процесів ґрунтоутворення в агроценозах різноротаційних сівозмін за рахунок посилення гідроморфності та біогенності у річному та сезонному циклах чорноземів Лівобережного Лісостепу України.

Чорноземи типові середньо- та малогумусні Лівобережного Лісостепу України в процесі довгострокового інтенсивного сільськогосподарського використання значною мірою втратили природну родючість за рахунок зниження рівня багатопараметричної саморегуляції гумусного, фізико-хімічного та біологічного стану; агрофізичних властивостей, газово, поживного, окисно-відновного режиму і режиму зволоження, що призвело до їхньої морфологічної деградації за рахунок остепніння генезису і погіршення умов відтворення природної, потенційної родючості та реалізації потенційної родючості чорноземів типових через її ефективну форму.

Для відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу необхідно застосувати ґрунтозахисні технології вирощування сільськогосподарських культур, в основі яких лежить обробіток ґрунту без обертання скиби з поверхневим загортанням органічних і мінеральних добрив, поживних і кореневих решток, за рахунок чого відтворюється сезонна та річна пульсація гумусу та його якісний стан при одночасному накопиченні детриту, вмісту новоутворених форм гумусу, власне гумусових речовин та покращенні співвідношення колоїдних форм гумусу. у напрямку процесів природного ґрунтоутворення.

Інтенсивний обробіток чорноземів в агроценозах сприяє збільшенню відносного вмісту активних форм колоїдного гумусу: відбува-

ється біологічна трансформація частини пасивного гумусу в активну форму за рахунок активізації органічної речовини у верхній частині гумусового горизонту (шар 0–20 см) чорнозему, а частка новоутвореного гумусу в загальній кількості активної форми колоїдного гумусу становить 65–70 % за безполицевого обробітку, а за оранки не більше 30 %, що зумовлюється активним метаболізмом ґрунтового різноманіття, включаючи ґрунтовідновну активність культур в агроценозах впродовж теплого періоду року за умови систематичного застосування ґрунтозахисних технологій з безполицевим обробітком.

Довготривале (понад 35 років) застосування безполицевого обробітку призводить до покращення групового та фракційного складу гумусу чорнозему типового, що зумовлено загортанням органічних добрив у 0–20 см шар ґрунту, зростанням глибини гуміфікації побічної продукції. При цьому співвідношення $C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}}$ зростає на 110–112 %, а за поверхневого обробітку — на 105–107 % відносно оранки ($C_{\text{ГК}} : C_{\text{ФК}} = 1,66–1,68$), а уміст фракцій стабільного біоактивного гумусу перевищував 50 % за рахунок залучення фракцій лабільного біоактивного гумусу у фракції стабільного біоактивного гумусу, тоді як за оранки уміст стабільного біоактивного гумусу був меншим за 50 %.

За безполицевого обробітку при зростанні загального запасу енергії $C_{\text{орг}}$ в оброблюваному шарі чорнозему відбувається якісна структуризація запасів енергії у складових групового і фракційного складу гумусу, яка спрямована на стабілізацію процесів, спрямованих на мінералізацію, гуміфікацію та гумусонакопичення, а співвідношення запасів енергії органічного вуглецю у фракціях ГК і ФК у 0–30 см шарі чорнозему незалежно від обробітку становило 1,85–1,87 до 1, що свідчить про однотипність гумусонакопичення при цьому запас енергії гумусу в 0–30 см шарі ґрунту за безполицевого обробітку відносно оранки зростає на 124 %; за поверхневого обробітку — на 110 %, а у шарі ґрунту 0–10 см запас енергії гумусу збільшився на 143 % за безполицевого та на 129 % за поверхневого обробітку у порівнянні з оранкою.

Детермінувальними чинниками оптимізації колообігу вуглецю є тип агроценозу, вид органічного добрива та обробіток чорнозему, які визначають баланс органічного вуглецю в агроценозах, який залишався від’ємним незалежно від типу агроценозу, мінеральних і органічних добрив та способу обробітку ґрунту, а емісія CO_2 від мінералізації надлишку побічної продукції у порівнянні з внесенням гною

зростала від 3,3–4,03 до 1,57–1,72 рази залежно від типу агроценозу, що слід розцінювати як явище корисне з позиції забезпечення умов реалізації потенційної біопродуктивності культур через посилення їхньої фотосинтетичної активності за оптимального вологозабезпечення опадами при надлишковому тепловому ресурсі.

За використання побічної продукції у якості органічних добрив за безполіцевого обробітку загальний винос азоту з агроценозів був меншим за його надходження, що супроводжується позитивністю балансу органічного вуглецю у ґрунті та скороченням його дефіцитності за рахунок оптимізації азотно-вуглецевого обігу у напрямку відтворення природної його організації та посиленню стимулювального “ефекту N” і “CO₂-фактора”, а відтворення природної моделі ґрунтоутворення забезпечується подовженістю періоду біологічної активності чорнозему та активізацією фізіологічної активності сільськогосподарських культур при одночасному відтворенні стокових механізмів органічного вуглецю, що є базовою моделлю розширеного відтворення родючості чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України.

За систематичної оранки дефіцитність балансу органічної речовини, погіршення якісного складу та підвищені коефіцієнти мінералізації гумусу порушується відносна рівновага між гумусним станом та станом макроструктури у сезонному і річному циклах — відбувається руйнування структурних окремостей і водостійких агрегатів, які перегруповуються в межах агрономічно цінного інтервалу в бік малих за розміром фракцій, а за систематичного безполіцевого обробітку відбувається процес укрупнення структурних окремостей і водостійких агрегатів до утворення “переважаючої” кількості (більше 50–55 %) структурних окремостей та агрегатів розміром 2–5 мм і 0,5–3 мм у сумі агрономічно цінних. Процес структуроутворення охоплює весь гумусований горизонт чорноземів типових середньо- і малогумусних, а стан макроструктури за перерозподілом структурних окремостей та водостійких агрегатів наближається до природного при утриманні перелогу.

За систематичного безполіцевого обробітку підсилюється залежність рівня водостійкості структури від сезонних і річних циклів вмісту та якісного стану гумусу: знижується залежність водостійкості структури від фактора зволоження чорноземів типових, а зумовлена пульсація гумусного і макроагрегатного стану чорнозему типового —

є ознакою припинення агрофізичної деградації та відновлення саморегуляції гумусного й структурно-агрегатного стану та є ознакою відтворення природної родючості чорноземів типових в агроценозах сівозмін.

За довгострокового безполицевого обробітку (10–36 років), за рахунок покращення гумусного та макроструктурного стану, відбувається оптимізація побудови шпаруватого середовища гумусованого (0–70 см) горизонту чорноземів типових, яке складається на користь агрегатних шпарин, у яких об'єм шпарин зайнятих загальною і продуктивною вологою переважає об'єм зайнятий повітрям в 1,5–2 рази, а оптимізація співвідношення категорій шпарин досягається за більш короткий відрізок часу (9–10 років), ніж за оранки (більше 10 років), що забезпечує високий рівень фізичних умов відтворення природної родючості чорноземів типових в агроценозах сівозмін Лівобережного Лісостепу України.

Застосування безполицевого обробітку впродовж 10–35 років спричинило розушільнення метрової товщі чорнозему типового відносно ґрунтотвірної породи (P_K) більше ніж у 2 рази порівняно з оранкою: 0,8–4,8 % проти 9,5–11,9 % за безполицевого обробітку, як без внесення органічних і мінеральних добрив, так при їхньому застосуванні; гумусовий горизонт розушільнюється — на 7,3–10,4 %, а перехідні горизонти — на 7,7–11,9 %. У цілому процес розушільнення метрової товщі подібний до процесу розушільнення за довгострокового (10–36 років) утримання перелугу.

Довгостроковий безполицевий обробіток (10 років) стабілізує співвідношення складових ґрунтового повітря в гумусовому горизонті чорнозему типового за рахунок оптимізації побудови шпаруватого середовища і властивостей вологи, яка його заповнює, — досягається стійка у часі депресивна концентрація (1,23–1,24 %) CO_2 в ґрунтовому повітрі, що попереджає надлишковий анаеробіозис, і як наслідок, надмірну мінералізацію органічних добрив та гумусу за рахунок посилення саморегуляції окисно-відновних умов відновлення родючості чорноземів типових в агроценозах у напрямку утримання перелугу.

Впорядкована сезонна ритмічність окисно-відновного стану та кислотно-лужної рівноваги чорноземів типових в умовах безполицевого обробітку регламентує сезонний хід доступності поживних елементів та їхнє найбільш оптимальне сезонне співвідношення у

грунтового розчині, забезпечуючи природний хід елементарних ґрунтових процесів у агроценозах, і має направлений характер, а підсилена біогенна акумуляція поживних речовин і локальне підкислення верхньої третини гумусового горизонту чорноземів типових — є явищем корисним, яке слід стимулювати безполіцевим обробітком, а не гальмувати систематичною оранкою.

В умовах довгострокового безполіцевого обробітку з мульчуванням поверхні поля поукісними, поживними рештками і нетоварною частиною урожаю, оптимальним унесенням мінеральних і органічних добрив ($N_{85}P_{65}K_{60} + 12$ т/га гною), відбувається покращення вологозабезпечення ресурсів і енергетики фаціального ґрунтоутворення на підзональному рівні, що забезпечує відтворення родючості оброблюваних чорноземів типових за рахунок оптимізації режиму зволоження ґрунтової товщі чорноземів в сезонному та річному циклах: відбувається підвищення ступеня гідроморфізму ґрунтової, у літній період вегетації культур запас продуктивної вологи в товщі чорнозему порівняно з оранкою зростає до 55 мм.

Ресурсність вологозабезпечення енергетики фаціального гумусонакопичення чорноземів в агроценозах за довгострокового безполіцевого обробітку покращується за рахунок більш ефективного засвоювання опадів, як зимового, так і літнього періоду, що підвищує фізіологічну активність коренів, ґрунтових мікроорганізмів та мезофауни за рахунок подовження на 20–25 днів періоду біологічної активності чорноземів типових в агроценозах.

При виконанні різних систем обробітку виявлено зв'язок між глибиною залягання карбонатів, їхніми видимими формами та підсиленням гідроморфності (ґрунтозахисні технології) або наростанням ксероморфності ґрунтових умов (систематична оранка) влітку, що, у першому випадку, сприяє рясним карбонатним новоутворенням, які змінюють тональність забарвлення гумусового горизонту до насичено попелясто-білого відтінку і забезпечують високий рівень оструктуреності і пухкості гумусованого горизонту, що свідчить про вторинне окарбоначування ґрунтового профілю чорнозему (реградація деградованих чорноземів) за рахунок відтворення ґрунтоутворення в агроценозах Лівобережного Лісостепу.

Систематичне застосування безполіцевого обробітку виступає потужним фактором відтворення процесів гумусонакопичення у фаціальному аспекті, що діагностується по потемнінню перехідних

горизонтів (pH_k та Ph_k) ґрунтової товщі чорноземів типових від за-тьоків гумусу. Зростання вмісту гумусу в ґрунтовій товщі чорноземів типових під впливом безполицевого обробітку відбувається від північної частини Лісостепової зони (+0,12 %) до південної її частини (+0,33 %). Надбавка вмісту гумусу в умовах південної частини Лісостепу вища відносно центральної частини в 2,75 раза, що свідчить про посилення фаціального гумусонакопичення з наближенням до смуги межування Лісостепової та Степової зон.

В умовах безполицевого обробітку додатково (15–20 мм) засвоєна ґрунтовою товщею волога опадів холодного періоду року сприяє збагаченню товщі чорноземів гумусом на 0,15–0,35 %, що виражається у збільшенні потужності (см) гумусованого горизонту в підзональному вимірі, а підсилення гідроморфності ґрунтової товщі влітку (підвищення запасів води за рахунок більш економної витрати у весняно-літній період на 25–30 %) сприяє посиленню темпів фаціального гумусонакопичення, що збільшує відносну акумуляцію гумусу на 8–25 % та профільне накопичення гумусу на 115–125 % відносно фонових ґрунтів.

Посилення фаціального гумусонакопичення за безполицевого обробітку відбувається за рахунок високої міграційної здатності гумінових кислот у момент їх новоутворення в умовах підвищеного гідроморфізму ґрунтової товщі чорнозему в сезонному і річному циклах, а новоутворені гумінові кислоти зв'язані з Са поступово мігрують через товщу активізованого карбонатного елювію до ґрунотвірної породи, тоді як в умовах глибокої аридизації товщі чорнозему в літній період за оранки новоутворені гумусові речовини швидко пересихають та мінералізуються, що знижує їхню міграційну здатність по профілю чорнозему. За безполицевого обробітку відбувається “опівнічнювання” ґрунтоутворення чорноземів більш південних фацій чорноземів, а, у другому випадку, прогресує процес остепніння ґрунтоутворення більш північних фацій чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу.

Відтворення родючості чорноземів типових Лівобережного Лісостепу України під впливом безполицевого обробітку пов'язано з фактором часу: після 9–10 років впливу — відновлюється природний стан чорнозему, а продуктивність стає менш залежною від погоднокліматичних факторів; після 10–15 років — ґрунт як система, виходить на високий рівень саморегуляції та самозбереження процесів та

режимів відтворення родючості; на 20–25 рік — забезпечується автономізація товщі чорнозему від впливу погодно-кліматичних факторів та стабілізується продуктивність агроценозів, а після 30–35 років — максимально відновлюються процеси ґрунтоутворення чорноземів типових в агроценозах.

За оранки ґрунтоутворення в агроценозах зміщується у бік посилення ксероморфності, а за безполіцевого обробітку — у бік посилення гідроморфності чорноземів у зоні оптимального зволоження. Під впливом системи безполіцевого обробітку ґрунту вектор ґрунтоутворення в агроценозах спрямовується у напрямку формування більш зволжених чорноземів, що відбивається на особливостях процесу гумусонакопичення, а виявлений ефект посилення гумусотворювальної функції чорнозему слід вважати оцінювальним критерієм адаптованості системи обробітку ґрунту і загалом, системи землеробства до умов зростання посушливості клімату.

В умовах Лівобережного Лісостепу України на чорноземах типових середньо- і малогумусних застосування ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур у агроценозах різноротаційних сівозмін сприяє підвищенню продуктивності культур у сівозмінах на 10–15 %. Чим більше проходить часу від початку застосування ґрунтозахисних технологій, тим більшу ефективність проявляють середні ($N_{85-110}P_{95-100}K_{80-85}$) дози мінеральних добрив на фоні внесення 15 т або 7 т/га побічної продукції. Нарівні з підвищенням продуктивності сівозміни при застосуванні ґрунтозахисних технологій відбувається зменшення енерговитрат (на 25–40 %) на вирощування сільськогосподарських культур порівняно з технологіями, які базуються на систематичному виконанні оранки.

ПІСЛЯМОВА

Своїми нераціональними діями в сільськогосподарському виробництві Людина порушила екологічну стабільність агроландшафтів, частково розімкнувши Малий біологічний кругообіг речовин, що призвело до дегуміфікації та посилення деградаційних процесів у чорноземах України.

Виробнича діяльність останніх десятиліть свідчить, що в Лісо-степу за агрофізичної деградації та дегуміфікації чорноземів у агроценозах прагнення агротехнічними заходами шляхом пріорювання органічних і мінеральних добрив створити потужний гумусовий горизонт обертається, як правило, посиленням деградаційних процесів, аридизацією ґрунтових умов і послабленням вологозабезпечення, формування потенційної родючості та реалізації її через ефективну форму.

Еволюція сучасного ґрунтотворення (агрогенезу) чорноземів в агроценозах спрямовується у регресивному напрямку, набуваючи послідовних взаємопов'язаних напрямків:

- агрогенно-природне, коли в ґрунтовому профілі визначальним є ґрунтотворення, властиве природним ценозам, але має певну трансформацію;
- природно-агрогенне, коли в ґрунтовому профілі чорнозему визначальними є природні процеси ґрунтотворення, але суттєво посилюються процеси, які відсутні в цілинних аналогах або які не відіграють у природних аналогів діагностичної ролі;
- агрогенне, коли в профілі чорнозему різко підсилюються антропогенні процеси, які призводять до зниження інтенсивності чорноземоутворення.

Разом із тим, спрямованість ґрунтотворення в усіх випадках зберігає природний тренд. Тому, чорноземи як природно-історичні тіла, предмет людської діяльності та основний засіб сільськогосподарського виробництва в сучасних умовах агрогенної еволюції не можна розглядати окремо від географічних умов їх формування. Навіть за крайнього ступеня деградації чорноземів принципових

генетичних змін в їхній будові під впливом сільськогосподарського використання не відбувається, що зумовлено близькістю природно-агрогенного та природного дернового гумусно-аккумулятивного процесів ґрунтотворення, а тому базовою основою родючості чорноземів в агроценозах слід уважати природну родючість.

З позицій сучасних уявлень у агроґрунтознавстві, агрохімії та землеробстві продовжується становлення нової узагальнювальної теорії потенційної родючості чорноземів, в якій в якості основного поняття розглядається саморегуляція як загальноґрунтове поняття. Сучасні агроєкосистеми втратили властиву для природних екосистем здатність до саморегуляції за рахунок прояву спрямованої сезонної циклічності елементарних ґрунтових процесів, що є головною причиною зниження родючості чорноземів й перетворення їх на більш-менш інертний субстрат.

Виключного значення у відтворенні родючості набуває відновлення природного статусу гумусового профілю чорнозему з загальними рисами дернового гумусо-аккумулятивного ґрунтотворення як фактор, який створює агрономічну ефективну родючість із проявом потенційної родючості всією товщею гумусового профілю чорнозему, а не орним горизонтом як за систематичної оранки.

Необхідно і надалі підтримувати та розвивати сучасну концепцію розширеного відтворення родючості чорноземів в агроценозах, де головним інструментом управління родючим потенціалом чорноземів слід уважати рециркуляційні принципи ведення сучасного землеробства як комплексу заходів з оптимізації ґрунтових режимів, звуження розірваності біологічного кругообігу речовини та максимального спрямування її потоків до ґрунтових систем, що є протидією багатьом видам деградації чорноземів, а також посиленню біологічного кругообігу біогенних елементів і вуглецево-азотної секвестраційної здатності.

Важливим є питання наукового обґрунтування процесу трансформації чорнозему з агрогенним ґрунтотворенням (крайній стан деградації) до агрогенно-природного (призупинення деградації) через їхню реградацію, що пов'язано з моделюванням (відновленням) природних процесів ґрунтоутворення за рахунок оптимізації нарощування штучної родючості відносно природної.

Застосування системи ґрунтозахисних технологій вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на безполіцевому об-

робітку з мульчуванням поверхні поля пожнивними рештками, поверхневим щорічним загортанням побічної продукції та мінеральних добрив у верхню третину гумусного горизонту сприяє частковому за комплексом ознак відновленню дернового процесу ґрунтотворення, посиленню біогенності ґрунтової товщі у річному та сезонному циклах і забезпечує умови відтворення родючості чорноземів типових в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

Ґрунтозахисний безполицевий обробіток, з мульчуванням поверхні чорнозему рослинними рештками, виконується згідно з законами природи. Відбувається моделювання дернового (чорноземного) процесу ґрунтоутворення в агроценозі. Найістотнішим заходом для виходу землеробства на розширене відтворення родючості чорноземів є його екологізація. Вона дає змогу прискорити ґрунтотворний процес за рахунок більш високих норм унесення органічної речовини, яка є енергетикою гумусоутворення.

Ґрунтозахисна система землеробства повинна розглядатися як комплекс методів і прийомів використання антропогенних і природних енергетичних ресурсів з тієї причини, що об'єми використання енергії потенційної родючості чорноземів не перевищують рівня, коли втрачається стійкість агроценозу, а об'єми відчуження енергії ефектної родючості не перевищують компенсаційного об'єму енергії екологічно безпечної якості за рахунок антропогенних надходжень в агроєкосистему. Створюється умова вирішення основної проблеми землеробства — раціонального використання родючості чорноземів із одночасним розширенням відтворення їхньої родючості, що забезпечує більш повне використання біокліматичного потенціалу за оптимального використання природних та антропогенних ресурсів території.

Застосування ґрунтозахисних технологій дає можливість логіку діяльності людини в агроценозі наблизити до логіки функціонування біогеоценозу, при цьому віддалені наслідки впливу людини на навколишнє середовище не будуть перечити найближчим цілям і знищувати значення цілей, що були прийняті раніше. Перехід на якісно нові технології у виробництві із замкнутим циклом використання речовини й енергії сприятимуть зниженню витрат ресурсів з оточуючого середовища, а нові затрати будуть пов'язуватися лише з розширенням відтворення родючості ґрунту та підвищенням продуктивності агроценозу.

Грунтозахисне землеробство, у найбільшій мірі, відповідає логіці оптимального природокористування та виступає важливим кроком об'єктивної необхідності розвитку свідомості землероба у якісно новий стан, який є закономірним продовженням процесу освоєння явища організованості агроценозу на основі біогеоценотичних принципів і, у першому наближенні, повинно розглядатися, як природне посилення ноосфери, закони розвитку якої формуються на основі оптимального синтезу природничих і соціальних факторів у процесі свідомої діяльності людини з використанням системних законів природного середовища при якісно провідній ролі соціального фактора.

1. *Абрамова М. М.* Опыты по изучению передвижения капиллярно подвешенной влаги при испарении / М. М. Абрамова // Почвоведение. — 1948. — № 1. — С. 24–32.
2. *Абрамова М. М.* Передвижение воды в почве при испарении / М. М. Абрамова // Тр. ИП АН СССР. — 1963. — Т. 41.
3. *Абрамова М. М.* О передвижении парообразной влаги в почве / М. М. Абрамова // Почвоведение. — 1963. — № 10. — С. 30–31.
4. *Акентьева Л. И.* Почвозащитная обработка и агрофизические свойства почв / Л. И. Акентьева // Земледелие. — 1985. — С. 32–33.
5. *Акентьева Л. И.* Почвозащитная обработка и использование влаги на черноземах / Л. И. Акентьева, М. С. Чигова // Земледелие. — 1989. — № 12. — С. 36–37.
6. *Акентьева Л. И.* Влагообеспеченность озимой пшеницы, кукурузы и подсолнечника в полевых севооборотах при почвозащитной обработке эродированных черноземов Донбасса / Л. И. Акентьева // Агрохимия и почвоведение. — 1990. — Вып. 53. — С. 45–51.
7. *Алексеев Л. И.* Морфологические исследования и использование почв Молдавии / Л. И. Алексеев // Вопросы исследования и использования почв Молдавии. — Кишинев, 1969. — С. 100–120.
8. *Алексеев В. Е.* Микробиологические исследования и использования черноземов севера Молдавии / В. Е. Алексеев // Вопросы исследования и использования почв Молдавии. — Кишинев, 1969. — Сб. 5 — С. 100–120.
9. *Алексеев В. Е.* О формах карбонатов в черноземах Молдавии / В. Е. Алексеев // Вопросы исследования и использования почв Молдавии. — Кишинев, 1970. — Сб. 6. — 250 с.
10. *Александрова Л. Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. — Л.: Наука, 1980. — 250 с.
11. *Алпатьев А. М.* Влагооборот культурных растений / А. М. Алпатьев. — Л.: Гидрометеоздат, 1954. — 246 с.
12. *Амельчук О. А.* Показатели и методы оценки почвенной кислотности и потребности почв в извести / О. А. Амельчук, Л. А. Воробьева // Агрохимия. — 1991. — № 2. — С. 123–125.
13. *Алиев С. А.* Экология и энергетика биохимических процессов превращения органического вещества почв / С. А. Алиев. — Баку, 1978. — 200 с.
14. *Алиев С. А.* Биоэнергетические показатели биологической продуктивности почв / С. А. Алиев // Биологическая продуктивность почв и ее увеличение: тез. Докл. Всесоюз. совещ., 18–20 дек. 1979. — М., 1979.
15. *Алиев С. А.* Биоэнергетические показатели биологической продуктивности почв / С. А. Алиев // Биологическая продуктивность почв и ее увеличение в интересах народного хозяйства: тез. Докл. Всесоюз. совещ., Москва, 18–20 дек. 1979. — Москва, 1979. — С. 30–31.

16. *Алиев С. А.* Энергетика превращения органического вещества почв / С. А. Алиев // Рациональное использование земель и системы применения удобрений: материалы научн. конф. — Баку, 1980. — С. 40–41.
17. *Андрейчик А. Л.* Проблемы моделирования ветровой эрозии почв / А. Л. Андрейчик // Почвоведение. — 1993. — № 1. — С. 85–86.
18. *Андрюхов В. Г.* Особенности индустриальной технологии в Центральном Черноземье / В. Г. Андрюхов // Кукуруза. — 1984. — № 6. — С. 19–20.
19. *Антипов-Каратаев И. Н.* О почвенном агрегате и методах его исследования / И. Н. Антипов-Каратаев, В. В. Келлерман, Д. В. Хап. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1948 — 83 с.
20. *Антипов-Каратаев И. Н.* О путях окультуривания почв Лесостепной и Степной полос СССР / И. Н. Антипов-Каратаев // Почвоведение. — 1954. — № 7. — С. 44–56.
21. *Антипчук А. Ф.* Пектинолитическая активность ризобий и ее роль в формировании эффективного симбиоза / А. Ф. Антипчук, Е. И. Андреюк // Микробиологический журнал. — 1997. — № 3. — С. 59–60.
22. *Апарин Б. Ф.* Эволюция почв и проблемы управления их плодородием / Б. Ф. Апарин // Вестн. с.-х. науки. — 1989. — № 9. — С. 74–79.
23. *Апостолов Н.* Интенсификация на селскотостопанского производство и опозване на околната среда / Н. Апостолов, Н. Найденов. — София: ЦНТИ при ССА, 1985. — 68 с.
24. *Атаманюк А. К.* Оптимальная плотность пахотного слоя черноземных почв Молдавии для зерновых культур / А. К. Атаманюк // Теоретические вопросы обработки почв. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — С. 157–162.
25. *Ахромейко А. И.* Структуры почвы / А. И. Ахромейко. — Л.: Сельхозгиз, 1930. — 160 с.
26. *Ахтырцев Б. П.* Зависимость состава гумуса от гранулометрических составных в почвах лесостепи / Б. П. Ахтырцев, Л. А. Яблонских // Почвоведение. — 1986. — № 7. — С. 114–120.
27. *Базырина Е. Н.* К методике водных культур. Роль аэрации в жизнедеятельности корней / Е. Н. Базырина // Тр. Ленинградского о-ва естествознания. — 1950. — Т. 70. — № 3. — С. 10–12.
28. *Бараев А. И.* Почвозащитное земледелие / А. И. Бараев // Избранные труды. — М.: Агропромиздат, 1988. — 383 с.
29. *Березин П. Н.* Применение вероятных функций распределения для описания гранулометрического состава почв и грунтов / П. Н. Березин, А. Д. Воронин // Почвоведение. — 1981. — № 3. — С. 30–36.
30. *Березин П. Н.* Особенности распределения гранулометрических элементов почв и почвообразующих пород / П. Н. Березин // Почвоведение. — 1983. — № 2. — С. 64–72.
31. *Березин П. Н.* Диагностика потенциальной и актуальной слитности почв по физическим критериям / П. Н. Березин // Почвоведение. — 1990. — № 5. — С. 65–75.
32. *Березин П. Н.* Экспериментальное изучение распределения агрегатов, микроагрегатов и гранулометрических элементов / П. Н. Березин, А. В. Кириченко, М. А. Корякина, С. Н. Коновалов // Почвоведение. — 1991. — № 4. — С. 135–145.
33. *Бихеле З. Н.* Расчет влияния биофизических параметров растений на его

- транспирацию и продуктивность / З. Н. Бихеле, Р. К. Бихеле, Ю. К. Росс // Параметры модели плодородия почв и продуктивности агроценозов: сб. науч. труд. — Пушкино, 1985. — С. 57–64.
34. *Бихиле З. Н.* Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений / З. Н. Бихеле, Х. А. Мондау, Ю. К. Росс. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 256 с.
35. *Бирюкова О. Н.* Период биологической активности почвы и его связь с групповым составом гумуса / О. Н. Бирюкова, Д. С. Орлов // Биологические науки. — 1978. — № 4. — С. 115–120.
36. *Благовещенский Ю. Н.* Непараметрические методы в почвенных исследованиях / Ю. Н. Благовещенский, В. П. Самсонова, С. А. Дмитриев. — М.: Наука, 1987. — 95 с.
37. *Бондарев А. Г.* Проблема регулирования физических свойств почв в интенсивном земледелии / А. Г. Бондарев // Почвоведение. — 1988. — № 9. — С. 64–70.
38. *Бондарев А. Г.* Некоторые пути определения оптимальных параметров агрофизических свойств почвы / А. Г. Бондарев, В. В. Медведев // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. — М.: Наука, 1980. — 128 с.
39. *Бондаренко Н. Ф.* Математическое моделирование почв / Н. Ф. Бондаренко, Б. В. Железный // Вестн. с.-х. науки. — 1986. — № 7. — С. 35–40.
40. *Бондарев А. Г.* Проблема уплотнения почв сельскохозяйственной техникой и пути ее решения / А. Г. Бондарев // Почвоведение. — 1990. — № 4. — С. 31–37.
41. *Бондарь В. П.* Система обработки почвы при выращивании кукурузы на постоянных участках / В. П. Бондарь // Совершенствование приемов возделывания кукурузы. — Днепрпетровск, 1983. — С. 53–70.
42. *Бойко П. І.* Кукурудза в інтенсивних сівозмінах / П. І. Бойко. — К.: Урожай, 1990. — 140 с.
43. *Бойко П. І.* Продуктивність культур та родючість чорнозему в залежності від факторів землеробства / П. І. Бойко, Л. І. Шиліна, І. С. Шаповал, Г. В. Коваленко // Вісник Черкаського інституту АПВ: міжвідом. Темат. збірн. наук. праць. — Черкаси, 2002. — Вип. 3. — С. 3–12.
44. *Булыгин С. Ю.* Грунтово-екологічна та агроекономічна оцінка збитків від спалювання стерні / С. Ю. Булыгин // Вісник аграрної науки. — 2002. — № 7. — С. 62–64.
45. *Булыгин С. Ю.* Агрофизическая характеристика почв и проектирование их противозерозионной защиты / С. Ю. Булыгин // Почвоведение. — 1990. — № 5. — С. 105–117.
46. *Булыгин С. Ю.* К оценке влияния механической обработки на почву / С. Ю. Булыгин, Т. Д. Комарова // Почвоведение. — 1990. — № 6. — С. 135–138.
47. *Булыгин С. Ю.* Микроагрегативность, как показатель противозерозионной стойкости почв / С. Ю. Булыгин, Ф. Н. Лисецкий // Почвоведение. — 1991. — № 12. — С. 98–103.
48. *Булаткин Г. А.* Оптимизация продуктивности агроценозов / Г. А. Булаткин // Вестн. с.-х. науки. — 1990. — № 4. — С. 30–37.
49. *Бурыкин А. М.* Влияние растительности на водопроницаемость почв в связи

- с процессом эрозии / А. М. Бурыкин // Почвоведение. — 1968. — № 4. — С. 40–50.
50. Буров Д. И. Испарение воды почвой и пути его регулирования в условиях Заволжья / Буров Д. И. // Известия Куйбышевского с.-х. ин-та. — 1967. — Вып. 12. — С. 3–17.
51. Буров Д. И. Испарение воды парующей почвой под растительным покровом в условиях Заволжья / Д. И. Буров // Почвоведение. — 1968. — № 4. — С. 40–50.
52. Быстрицкая Т. А. Почвенные растворы черноземов и серых лесных почв / Т. А. Быстрицкая, В. В. Волкова, В. В. Снакин. — М.: Наука, 1981.
53. Быстрицкая Т. А. О годовом цикле современного черноземного процесса / Т. А. Быстрицкая, М. И. Герасимова // Почвоведение. — 1988. — № 6. — С. 5–16.
54. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. — М.: Агропромиздат, 1986. — 416 с.
55. Васильев Д. С. Подсолнечник / Д. С. Васильев. — М.: Агропромиздат, 1990. — 174 с.
56. Васильев Д. С. Разноглубинная обработка почвы в севообороте / Д. С. Васильев, В. И. Марин // Земледелие. — 1991. — № 4. — С. 58–60.
57. Васютин М. М. На Кубани / М. М. Васютин, М. С. Стручалин, Ю. А. Харченко // Земледелие. — 1989. — № 11. — С. 48.
58. Веретенников А. В. Метаболизм древесных растений в условиях корневой аннексии / А. В. Веретенников. — Воронеж: Изд-во ун-та, 1985. — 151 с.
59. Веретельников В. П. Влияние способов основной обработки на плодородие типичного чернозема / В. П. Веретельников, В. А. Рядовой, Н. С. Радченко // Почвоведение. — 1993. — № 2. — С. 90–93.
60. Вернадский В. И. К вопросу о химическом составе почв / В. И. Вернадский // Изб. Соч. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — Т. V. — 285 с.
61. Вернадский В. И. Живое вещество. — М.: Наука, 1979. — С. 152–161.
62. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1988. — С. 210–382.
63. Вершинин П. В. Почвенная структура и условия ее формирования / П. В. Вершинин. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 169 с.
64. Вершинин П. В. Почвенная микроструктура, ее значение и методы определения / Вершинин П. В. Почвенная структура и условия ее формирования / П. В. Вершинин // Почвенная структура и условия ее формирования. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — С. 31–38.
65. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. — К.: Оранта, 1998. — 700 с.
66. Виноградова А. А. Особенности режима увлажнения почвы в степной зоне Украины / А. А. Виноградова, В. Р. Дмитренко // Тр. Укр. НИГМИ. — 1971. — Вып. 109. — С. 81–89.
67. Винокуров М. А. Величина емкости обмена органической и минеральной части почвенного поглощающего комплекса / М. А. Винокуров // Учен. зап. Казан. ун-та. — 1934. — Кн. 2. — С. 380.
68. Вилькенс А. А. Статистические и вероятностные характеристики продуктивных влагозапасов в слое 0–50 см в весенне-летний период на Украине /

- А. А. Вилькенс, Л. А. Белоусова // Тр. Укр. НИГМИ. — 1977. — Вып. 159. — С. 114–123.
69. *Величко В. А.* Гумусний стан чорноземів типових лівобережного Центрального Лісостепу України та відтворення їхньої родючості / В. А. Величко, О. В. Демиденко, Ю. І. Кривда / Вісник аграрної науки. — 2013. — № 7. — С. 20–25.
70. *Вильямс В. Р.* Земледелие с основами почвоведения / В. Р. Вильямс. — М.: Сельхозгиз, 1949. — 210 с.
71. *Витвицкий С. В.* Динамика изменения органического вещества в черноземных почвах / С. В. Витвицкий, А. А. Свищук // Тез. Докл. — Рига, 1989. — С. 10–11.
72. *Витер А. Ф.* Динамика CO₂ и пищевого режима в почве в зависимости от объемного веса / А. Ф. Витер // Сб. науч. работ НИИ с.-х. Центрально-Черноземной полосы. — Воронеж, 1972. — Т. 7. — С. 35–40.
73. *Витер А. Ф.* Изменение плодородия черноземов при их обработке / А. Ф. Витер; под ред. академ. ВАСХНИЛ И. П. Макарова // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. — М.: Агропромиздат, 1990. — С. 123–129.
74. *Володарский Н. И.* Биологические основы возделывания кукурузы / Н. И. Володарский // 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1986. — 189 с.
75. *Володин В. М.* О расширенном воспроизводстве почвенного плодородия / В. М. Володин // Вестн. с.-х. науки. — 1989. — № 6. — С. 24–29.
76. *Волобуев В.* Термодинамические аспекты моделирования почвенных процессов / В. Волобуев // Изв. АН СССР. — 1978. — № 1.
77. *Волобуев В. Л.* О двух экологических решениях с использованием идей энергетики почвообразования / В. Л. Волобуев // 100-летие генетического почвоведения. — М.: Наука, 1986. — С. 152–161.
78. *Володин В. М.* О расширенном воспроизводстве почвенного плодородия / В. М. Володин // Вестник с.-х. науки. — 1989. — № 6. — С. 24–29.
79. *Воронин А. Д.* Структурно-функциональная гидродинамика почв / А. Д. Воронин. — М.: Из-во МГУ, 1986. — 204 с.
80. *Воронин А. Д.* Основы физики почв / А. Д. Воронин. — М.: Из-во МГУ, 1986. — 244 с.
81. *Востров Н. С.* Рациональное использование микроорганизмов для повышения потенциального плодородия почв / Н. С. Востров // Вестник с.-х. науки. — 1989. — С. 103–110.
82. *Встреча* сторонников и оппонентов бесплужного земледелия // Земледелие. — 1990. — № 7. — С. 22–34.
83. *Высоцкий Г. Н.* Природа и культура растений на Велико-Анадольском участке / Г. Н. Высоцкий // Тр. эксп. Лесн. деп.: Сборный отдел. — СПб, 1998. — Вып. 2. — 300 с.
84. *Гавва И.* Тенденции в развитии систем обработки почвы в Канаде / И. Гавва // Земледелие. — 1987. — № 7. — С. 81.
85. *Галифулин Ф. Ш.* Физические свойства почв и их изменение в процессе окультуривания / Ф. Ш. Галифулин. — М.: Наука, 1979. — 156 с.
86. *Ганжара И. Ф.* Баланс гумуса в почвах и пути его регулирования / И. Ф. Ганжара // Земледелие. — 1986. — № 10. — С. 7–8.

87. *Генадиев А. М.* О факторах и этапах почвообразования / А. М. Генадиев // Почвоведение. — 1986. — № 4. — С. 102–112.
88. *Гедройц К. К.* Почвенный поглощающий комплекс и почвенные поглощенные катионы как основа генетической почвенной классификации / К. К. Гедройц // Тр. Носов. с.-х. опыт. ст. — 1926. — Вып. 47.
89. *Гедройц К. К.* Почвенные обменные катионы и растение. Минеральные удобрения / К. К. Гедройц // Тр. НИУИФ. — 1933. — Вып. 113.
90. *Гринченко А. М.* Плодородие почв и пути его повышения / А. М. Гринченко // Лекция. — Харьковський СХИ ім. В.В. Докучаєва. — Харьков, 1976. — 58 с.
91. *Гринченко А. М.* К проблеме окультуривания почв и воспроизводства их природно-экономического плодородия / А. М. Гринченко, В. Д. Муха // Плодородие почв и эффективность удобрений : сб. науч. тр. Харьков с.-х. ин-т. ім. В.В. Докучаєва. — 1980 — С. 3–5.
92. *Грушка Я.* Монография о кукурузе / Я. Грушка, пер. с чеш. — М.: Колос, 1965. — 751 с.
93. *Годлин М. М.* Классификация и номенклатура почв УССР по механическому составу / М. М. Годлин // Тр. Киевского с.-х. института. — 1936. — Т. 1. — С. 5–20.
94. *Годлин М. М.* Методика почв для механического анализа / М. М. Годлин // Почвоведение. — 1938.
95. *Годлин М. М.* Опыт характеристики и классификации почв УССР по агрегатно-дисперсному составу / М. М. Годлин // Тр. Киевского с.-х. и-та. — 1949. — Т. 5. — С. 2–40.
96. *Годлин М. М.* Гумусовые вещества, извлекаемые в процессе пептизации почвенных коллоидов / М. М. Годлин // Труды Киевского с.-х. института. — 1953. — Т. 4 — С. 5–35.
97. *Годлин М. М.* Пути и методы изучения микроагрегатного и механического состава почв / М. М. Годлин // Почвоведение. — 1953. — № 6.
98. *Годлин М. М.* О механическом и агрегатном составе почв / М. М. Годлин. — К.: Госсельхозиздат, 1958. — 42 с.
99. *Гордиенко В. П. Костогрыз А. В.* О закономерностях испарения влаги при различной плотности верхнего слоя почвы / В. П. Гордиенко // Почвоведение. — 1990. — № 5. — С. 118–127.
100. *Горшенин К. П.* Опыт разделения минеральной и органической поглощательной способности почв / К. П. Горшенин // Почвоведение. — 1931. — № 3. — С. 40–51.
101. *Головко Э. А.* Аллелопатия культурных растений в аспекте проблем агрофитоценологии / Э. А. Головко, Т. М. Беляновская, И. И. Воробей // Физиология и биохимия культурных растений. — 1999. — № 2. — С. 103–104.
102. *Гнатенко А. Ф.* Почвозащитные технологии и плодородие черноземов Лесостепи / А. Ф. Гнатенко // Тез. докл. VIII Всесоюзного съезда почвоведов, 14–18 августа 1989. — Новосибирск, 1989. — Кн. 5. — С. 260.
103. *Григорьев Г. И.* О разработке классификации почв по окультуренности / Г. И. Григорьев, В. М. Фридланд // Изменение почв при окультуривании, их классификация и диагностика. — М.: Колос, 1965. — С. 171–193.
104. *Гринева Г. М.* Регуляция метаболизма у растений при недостатке кислорода / Г. М. Гринева. — М.: Наука, 1975. — С. 279.
105. *Гришина Л. А.* Система показателей гумусного состояния почв / Л. А. Гри-

- шина, Д. С. Орлов // Проблемы почвоведения. — М.: Наука, 1978. — С. 42–47.
106. *Гришина Л. А.* Влияние кислых осадков на свойства почв лесных экосистем южной тайги / Л. А. Гришина, Т. А. Баранова // Почвоведение. — 1990. — № 10. — С. 121–136.
107. *Грінченко О. М.* Гумусовий стан чорноземів та шляхи його поліпшення / О. М. Грінченко, Р. Г. Дерев'янка, О. О. Бацула [та ін.] ; за ред. Б. С. Носка, Г. Я. Чесняка // Як зберегти і підвищити родючість чорноземів. — К.: Урожай, 1984. — 200 с.
108. *Гродзинский Д. М.* Надежность растительных систем / Д. М. Гродзинский. — К.: Наукова думка, 1983. — 300 с.
109. *Дегтярьов В. В.* Гумус чорноземів лівобережного Лісостепу і Степу України: Монографія / За ред. д. с-г. н., проф. Д. Г. Тихоненка. — Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва. — Х.: Майдан, 2011. — 360 с.
110. *Гуреев И. И.* Функциональное описание состояния почвы / И. И. Гуреев // Земледелие. — 1991. — № 1. — С. 25–31.
111. *Демиденко А. В.* Саморегуляція родючості чорнозему при ґрунтозахисному землеробстві / О. В. Демиденко, М. К. Шикла // Науковий вісник Національного аграрного університету. — Київ, 2000. — Вип. 32. — С. 315–320.
112. *Демиденко О. В.* Посилення біогенності чорнозему в післязбиральний період при мінімалізації обробітку / О. В. Демиденко, А. Д. Балаєв // Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва: Міжвід. темат. зб. наук. праць. — 2009. — Вип. 9. — С. 108–114.
113. *Демиденко О. В.* Фізіологічна активність сільськогосподарських культур та відтворення родючості чорноземів в агроценозах / О. В. Демиденко // Физиология и биохимия культурных растений. — 2013. — Т. 45. — №3 (236). — май–июнь. — С. 213–221.
114. *Демиденко О. В.* Ґрунтозахисні технології вирощування буряку цукрового — складова зростання ефективності бурякоцукрової галузі / О. В. Демиденко, В. А. Дишлевий // Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва: Міжвід. темат. зб. наук. праць. — 2005. — № 5. — С. 3–12.
115. *Демиденко О. В.* Управління фаціальним гумусонакопиченням чорноземів в агроценозах Лісостепу і Степу України / О. В. Демиденко, В. А. Величко // Вісник аграрної науки. — 2013. — № 4. — С. 54–59.
116. *Демиденко А. В.* Минимальная обработка черноземов типичных, как фактор саморегуляции агроценозов / А. В. Демиденко, М. В. Капштык, Н. К. Шикла [и др.] // Сб.: Проблемы использования земли. — 1995. — С. 70–71.
117. *Демиденко О. В.* Агрофізичні умови ґрунтоутворення чорноземів в агроценозах / О. В. Демиденко, В. А. Величко // Вісник аграрної науки. — 2013. — № 2. — С. 14–19.
118. *Демиденко О. В.* Захисна та термоізолююча властивість мульчі та режим зволоження чорнозему за мінімального обробітку / О. В. Демиденко // Науковий вісник НАУ. — 2005. — Вип. 81. — С. 118–122.
119. *Демиденко О. В.* Вплив мінімального обробітку чорнозему на відтворення ґрунтового різноманіття / О. В. Демиденко // Агроекологічний журнал. — 2006. — № 3. — С. 17–23.
120. *Демиденко О. В.* Гумусний стан чорнозему типового в умовах Лівобережного

- Лісостепу / О. В. Демиденко, М. К. Шикуча // Вісн. аграрної науки. — 2004. — № 2. — С. 5–11.
121. Демиденко О. В. Коренева система польових культур як функція і критерій умов відновлення ґрунтоутворення чорноземів в агроценозах / О. В. Демиденко // Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва: Міжвід. темат. зб. наук. праць. — 2006. — № 6. — С. 45–56.
122. Демиденко О. В. Фактор часу і відтворення родючості чорноземів в агроценозах / О. В. Демиденко, М. К. Шикуча // Вісн. аграрної науки. — 2006. — № 2. — С. 13–17.
123. Демиденко О. В. Оптимізація норм і доз добрив в залежності від глибини і способів обробітку ґрунту під пшеницю озиму / О. В. Демиденко, В. А. Дишлевий // Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва: Міжвід. темат. зб. наук. праць. — 2007. — № 7. — С. 163–172.
124. Демиденко О. В. Саморегуляція родючості чорнозему при ґрунтозахисному землеробстві / О. В. Демиденко, М. К. Шикуча // Науковий вісник НАУ. — 2000. — № 32. — С. 315–320.
125. Демиденко О. В. Продуктивність гуміфікації при мінімальному обробітку чорноземів / О. В. Демиденко // Збірн. наук. праць. — за ред. акад. АН ВШ України М. І. Бахмача. — Кам'янець-Подільський. — 2007. — Вип. 15. — С. 49–54.
126. Демиденко О. В. Агрофізичні умови ґрунтоутворення чорноземів в агроценозах / О. В. Демиденко // Вісник Черкаського інституту агропромислового виробництва : Міжвід. темат. зб. наук. праць. — 2008. — № 8. — С. 164–174.
127. Демиденко О. Саморегуляція агрофізичного стану чорнозему при ґрунтозахисному землеробстві / О. В. Демиденко // Вісник Національного ун-ту Водного господарства та природокористування. — 2004 — Вип. 3 (27). — С. 49–54.
128. Демиденко О. В. Агрохімічні властивості структурних агрегатів чорнозему в умовах ґрунтозахисного землеробства / О. В. Демиденко, М. К. Шикуча // Вісн. аграрної науки. — 2002. — № 12. — С. 16–23.
129. Демиденко О. В. Саморегуляція біологічного фактора ґрунтоутворення в умовах ґрунтозахисного обробітку / О. В. Демиденко // Агрохімія і ґрунтознавство : міжвід. темат. збірн.: [Агрохімія і ґрунтознавство на шляху сталого розвитку України]. — 2002. — Кн. 3. — С. 53–56.
130. Демиденко О. В. Системний принцип відтворення родючості чорноземів при ґрунтозахисному обробітку / О. В. Демиденко // Збірник наук. праць Націон. університету водн. госп. та природокористування. — 2004. Ч. 1. — Вип. 4 (28). — С. 30–41.
131. Демиденко О. В. Ефективність використання побічної продукції рослинництва для покращення фізико-хімічних властивостей чорноземів Лісостепу України / О. В. Демиденко, Ю. І. Кривда, А. М. Василенко // Агроекологічний журнал. — 2011. — № 4. — С. 64–69.
132. Демиденко О. В. Біогенність чорнозему типового за різного обробітку ґрунту / О. В. Демиденко, О. Л. Тонха, В. А. Величко // Вісник аграрної науки. — 2013. — № 1. — С. 20–23.
133. Дергачева М. И. Динамичность как одно из свойств гумуса / М. И. Дергачева // Современные проблемы гумусообразования. СО АН СССР, 1986.

134. *Докучаев В. В.* Избранные сочинения / В. В. Докучаев. — М.: Сельхозгиз, 1936. — 551 с.
135. *Докучаев В. В.* Избранные сочинения / В. В. Докучаев. — М.: Сельхозгиз. — 1948. — Т. 1. — 480 с.
136. *Докучаев В. В.* О задачах учреждаемого общества распространения в России сельскохозяйственных знаний и умений в связи с учением о зонах природы (1899) / В. В. Докучаев. — М.: изд-во АН СССР, 1985. — Т. 7. — С. 267–270.
137. *Дружина Д. Л.* Синергетика и методология системных исследований / Д. Л. Дружина, В. Г. Ванорхо // Системные исследования. Методологические проблемы : ежегодник. — Москва, 1989. — С. 283–303.
138. *Долгов С. И.* О формах и состояниях почвенной влаги / С. И. Долгов // Почвоведение. — 1946. — № 7. — С. 40–50.
139. *Долгов С. И.* Исследование подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений / С. И. Долгов. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — 201 с.
140. *Долгов С. И.* Система осенних мероприятий по восполнению запасов почвенной влаги к весне 1958 г. в степных районах Алтайского края / С. И. Долгов // Земледелие. — 1957. — № 9. — С. 30–35.
141. *Долгов С. И.* О некоторых закономерностях зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от плотности почвы / С. И. Долгов, С. А. Модина // Теоретические вопросы обработки почвы. — Л.: Гидрометеиздат, 1963. — Вып. 2. — С. 200–210.
142. *Долгов С. И.* Изучение оптимального для культурных растений сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, С. А. Модина [и др.] // Тез. докл. III съезда почвоведов СССР. — Тарту, 1966. — С. 243–245.
143. *Долгов С. И.* Изучение оптимального для культурных растений сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, С. А. Модина, Б. В. Личманов // Делегатский съезд почвоведов. — М.: Наука, 1968. — С. 21.
144. *Долгов С. И.* К агрономической оценке сложения плодородия почв и их рационального использования / С. И. Долгов, С. А. Модина. — М.: Наука, 1973. — С. 112–130.
145. *Долгов С. И.* О критериях оптимального сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, М. В. Кузнецова, С. А. Модина // Проблемы обработки почвы: докл. Межд. Сов. 13–15 июня 1988. — Варна, София : Изд-во Болгарской АН, 1970. — С. 131–132.
146. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — М.: Колос, 1979. — 289 с.
147. *Дояренко А. Г.* Дифференциальная скважность как показатель почвенной структуры / А. Г. Дояренко // Соц. зерн. хоз-во. — Саратов, 1941. — № 1.
148. *Дояренко А. Г.* Избранные сочинения / А. Г. Дояренко. — М.: Изд-во с.-х. литературы, 1963. — 490 с.
149. *Дьяконова К. В.* Простое и расширенное воспроизводство органического вещества почв / К. В. Дьяконова // Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв. — М., 1984. — С. 20–25.
150. *Евдокимов В. В.* Варианты обработки почвы под кукурузу / В. В. Евдокимов, И. К. Рясиченко, Н. И. Савин // Земледелие. — 1991. — № 6. — С. 51–52.

151. *Елисеєв Д. А.* Расширенное воспроизводство почвенного плодородия — важная составляющая конечного продукта сельскохозяйственного производства / Д. А. Елисеєв // Вестн. Моск. ун-та. — Сер. 17. — Почвоведение. — 1987. — № 1. — С. 10–17.
152. *Жирмунский А. В.* Критические уровни в процессах развития биологических систем / А. В. Жирмунский, В. И. Кузьмин. — М.: Наука, 1982. — 178 с.
153. *Жирмунский А. В.* Критические уровни в развитии природных систем / А. В. Жирмунский, В. И. Кузьмин. — М.: Наука, 1989. — 290 с.
154. *Жуков А. И.* Оптимальное содержание лабильного гумуса / А. И. Жуков // Земледелие. — 1990. — № 12. — С. 38–40.
155. *Журков С. М.* Физические процессы в очагах землетрясений / С. М. Журков, В. С. Куксенко, В. А. Петров [и др.]. — М.: Наука, 1970. — 120 с.
156. *Жулин И. Б.* Хемотаксис *Azospirillum brasilense* по отношению к аминокислотам / И. Б. Жулин, В. В. Игнатов // Микробиология. — 1986. — № 2. — С. 340–342.
157. *Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті* / О. О. Бацула, С. А. Головачов. — К.: Урожай, 1987. — 128 с.
158. *Заварзин Г. А.* Бактерии и состав атмосферы / Г. А. Заварзин. — М., 1984. — 192 с.
159. *Заварзин Г. А.* Роль микроорганизмов в формировании микрокомпонентного состава почвенного воздуха / Г. А. Заварзин // Роль организмов в газообмене почв. — М.: Изд-во МГУ, 1986. — С. 3–14.
160. *Зайцева Т. Ф.* Буферность почв и вопросы диагностики / Т. Ф. Зайцева // Извест. СО АН СССР : сер. биол. наук. — 1987. — № 14. — Вып. 2. — С. 69–80.
161. *Захарченко И. Г.* К методике изучения прочности структуры почвы / И. Г. Захарченко // Почвоведение. — 1954. — № 12. — С. 50–60.
162. *Зборишук Н. Г.* Условия аэрации орошаемых южных и предкавказских черноземов / Н. Г. Зборишук // Вестник МГУ. Биология и почвоведение. — 1975. — № 4. — С. 95–101.
163. *Зборишук Н. Г.* Изменение воздушного режима почв при их сельскохозяйственном использовании / Н. Г. Зборишук // Взаимодействие почвенного и атмосферного воздуха. — М.: Изд-во МГУ, 1975. — С. 75–91.
164. *Зубенко В. Ф.* Дифференцированная обработка почвы / В. Ф. Зубенко // Защита растений. — 1983. — № 8. — С. 16–17.
165. *Зубенко В. Ф.* Сахарная свекла основы агротехники / В. Ф. Зубенко. — К.: Урожай, 1979. — 41 с.
166. *Зубенко В. Ф.* Агрофизические свойства, режимы почвы и продуктивность сахарной свеклы / В. Ф. Зубенко // Сахарная свекла основы агротехники. — К.: Урожай. — 1979. — С. 30–40.
167. *Иени Г.* Факторы почвообразования / Г. Иени. — М.: Изд.-во иностр. лит., 1947. — 375 с.
168. *Измайльський А. А.* Влажность почв и грунтовая вода в связи с рельефом местности и культурным состоянием поверхности почвы / А. А. Измайльський. — Полтава, 1994. — 226 с.
169. *Инкин Л. А.* Плотность почвы и физические процессы в ней / Л. А. Инкин. — Ставрополь, 1973. — 210 с.
170. *Казаков Г. И.* Значение агрофизических свойств чернозема обыкновенного

- в формировании урожая / Г. И. Казаков // Почвоведение. — 1986. — № 4. — С. 131–133.
171. *Капштик М. В.* Циклічність органічної речовини чорноземів типових і відтворення їх здатності до саморегуляції / М. В. Капштик, А. О. Свіщук // Агрохімія і ґрунтознавство : міжвід. темат. наук. збірн. — Харків, 1998. — Ч. 2. — С. 61–63.
 172. *Капштик М. В.* Ґрунтозахисні технології як передумова органічного землеробства / М. В. Капштик, О. В. Демиденко // Агроєкологічний журнал. — 2011. — №2. — С. 52–58.
 173. *Карлович С. К.* Почвозащитная система обработки почв / С. К. Карлович // Земледелие, 1980. — № 6.
 174. *Картамышев Н. И.* Вновь о дифференциации корнеобитаемого слоя почвы / Н. И. Картамышев, М. И. Герасимов // Земледелие, 1989. — № 4. — С. 33–34.
 175. *Картамышев Н. И.* Резервы стабилизации и роста плодородия почвы / Н. И. Картамышев, С. А. Чалабянс // Достижение науки и техники АПК. — 1989. — № 2. — С. 23–24.
 176. *Картамышев Н. И.* Снижать засоренность полей в почвозащитном земледелии / Н. И. Картамышев, З. М. Шмат, Н. Ф. Гончаров // Земледелие. — 1992. — № 2. — С. 52–58.
 177. *Качинский Н. А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. А. Качинский. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 292 с.
 178. *Качинский Н. А.* Структуры почвы / Н. А. Качинский. — М.: Изд-во МГУ, 1963. — 250 с.
 179. *Качинский Н. А.* Структура почвы. Итоги и перспективы изучения вопроса / Н. А. Качинский. — М.: Изд-во МГУ, 1963. — 100 с.
 180. *Качинский Н. А.* Физика почвы / Н. А. Качинский. — М., 1965.
 181. *Качинский Н. А.* Почва, ее свойства и жизнь / Н. А. Качинский. — М.: Наука, 1975.
 182. *Каштанов А. Н.* Плодородие почвы в интенсивном земледелии / А. Н. Каштанова, А. М. Лыков, И. С. Кауричев // Вестн. с.-х. науки. — 1983. — С. 34–40.
 183. *Кауричев И. С. Орлов Л. С.* Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв / И. С. Кауричев. — М.: Колос, 1982. — 140 с.
 184. *Квасников В. В.* Новейшие воззрения о наилучшем строении пахотного слоя почвы при обработке черноземных почв / В. В. Квасников // Материалы научн. конф. Воронежский с.-х. институт. — Воронеж, 1961. — 156 с.
 185. *Кельчевская Л. С.* Влажность почв Европейской части СССР / Л. С. Кельчевская. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 185 с.
 186. *Кивер В. Ф.* Минимализация обработки и микробиологическая активность почвы / В. Ф. Кивер, А. Д. Пилипенко, С. А. Мектээв // Земледелие. — 1977. — № 7. — С. 41–42.
 187. *Кисиленко А. А.* Пространственно-временная изменчивость продуктивных влагозапасов на Украине в слоях 0–20 и 0–100 см / А. А. Кисиленко, А. А. Вилькенс // Тр. УкрНИГМИ, 1975. — Вып. 139. — С. 87–94.
 188. *Кірізій Д. А.* Саморегуляція донорно-акцепторних відносин між листовою розеткою і коренеплодом у цукрових буряків при затінненні / Д. А. Кірізій // Физио-

- логия и биохимия культ. растений. — 2001. — Т. 33. — № 2. — С. 105–111.
189. *Кириченко О. В.* Взаємодія відносин бобових рослин і бульбочкових бактерій на рівні до контактних взаємодій при формуванні азотфіксувальних систем / *О. В. Кириченко* // Физиология и биохимия культурных растений. — 2002. — Т. 34. — № 2. — С. 95–101.
190. *Ковда В. А.* Проблемы защиты почвенного покрова и биосферы СССР / *В. А. Ковда*. — Пушкино : ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1989. — 156 с.
191. *Ковда В. А.* Почвенные ресурсы СССР, их использование / *В. А. Ковда, Я. А. Печевский* // Док. К VIII Всесоюзному съезду почвоведов, 19–21 августа, Новосибирск, 1989. — Пушкино, 1989. — 34 с.
192. *Ковда В. А.* Основы учения о почвах / *В. А. Ковда*. — М.: Наука, 1973. — Кн. 1. — 447 с. — Кн. 2. — 262 с.
193. *Ковда В. А.* Биосфера, почвы и их использование / *В. А. Ковда* // Материалы Междунар. контр. Почвоведов. — М., 1974.
194. *Ковда В. А.* Биосфера и почвенный покров / *В. А. Ковда* // Тр. биогеохимической лаборатории. — Москва, 1979. — т. 17. — С. 58–68.
195. *Ковда В. А.* Антропогенные изменения в черноземах / *В. А. Ковда* // Русский чернозем — 100 лет после Докучаева. — М.: Наука, 1983. — С. 259–261.
196. *Ковда В. А.* Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / *В. А. Ковда*. — М.: Наука, 1981. — 182 с.
197. *Козин В. К.* Запас энергии в гумусе как критерий для бонитировки почв / *В. К. Козин* // Почвоведение. — 1990. — № 3. — С. 153–155.
198. *Коковина Т. П.* Водный режим мощных черноземов и влагообеспеченность на них сельскохозяйственных культур / *Т. П. Коковина*. — М.: Колос, 1974. — 302 с.
199. *Коломієць С. С.* Екологічна характеристика ґрунту / *С. С. Коломієць* // Вісник аграрної науки. — 1999. — № 12. — С. 9–13.
200. *Коринец В. В.* Методика расчета энергетической эффективности основной обработки почвы / *В. В. Коринец* // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. — М.: Агропромиздат, 1989. — С. 235.
201. *Коринец В. В.* Эффективность энергоциклов земледелия / *В. В. Коринец, В. В. Захаров* // Сб. научн. тр. Волгоградского СХИ. — 1986. — С. 11–120.
202. *Коринец В. В.* Системно-энергетический подход при оценке обработки почвы / *В. В. Коринец* // Земледелие. — 1991. — № 12. — С. 65–67.
203. *Коссович П. С.* Водные свойства почв / *П. С. Коссович*. // Опытн. агроном. — СПб, 1904. — Т. 1.
204. *Костычев П. А.* Почва, ее обработка и удобрение / *П. А. Костычев*. — СПб, 1908.
205. *Костычев П. А.* Почвы черноземной области России. Их происхождение, состав и свойства / *П. А. Костычев*. — М.–Л.: Сельхозгиз, 1937. — 239 с.
206. *Котоврасов И. П.* На Украине / *И. П. Котоврасов, В. Б. Павловский* // Земледелие. — 1989. — № 11. — С. 46–47.
207. *Классификация и номенклатура почв УССР по механическому составу.* — 1940. — 90 с.
208. *Классификация и диагностика почв СССР.* — Москва, 1977.
209. *Коссович П. С.* Основы учения о почве / *П. С. Коссович*. — СПб, 1911. — Ч. II. — Вып. 1 — 264 с.

210. Колосов И. И. Положительная деятельность корневых систем растений / И. И. Колосов. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 87 с.
211. Колясев Ф. Е. Дифференциальная влажность, ее теория и применение по агрономической физике / Ф. Е. Колясев. — Л., 1984. — Вып. 4. — С. 35–40.
212. Колясев Ф. Е. Физическое обоснование послойной обработки, как нового приема сухого земледелия / Ф. Е. Колясев // Социалистическое зерновое хозяйство. — 1939. — № 4. — С. 40–45.
213. Колясев Ф. Е. Испарение воды почвой / Ф. Е. Колясев // Почвоведение. — 1939. — № 5. — С. 25–30.
214. Колясев Ф. Е. Применение катков в земледелии / Ф. Е. Колясев // Доклады ТСХА. — 1955. — № 5. — С. 10–12.
215. Колясев Ф. Е. Подвижность воды в почве и некоторые пути ее регулирования / Ф. Е. Колясев // Сб. тр. Вопросы агрофизики. — Л.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1957. — С. 101–115.
216. Колясев Ф. А. Изменение влажности почвы в зависимости от плотности и агрегатного состояния / Ф. А. Колясев // Доклады ТСХА. — 1957. — Вып. 28. — С. 40–45.
217. Кононова М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы его изучения / М. М. Кононова. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 200 с.
218. Козырев Н. А. Время как физическое явление / Н. А. Козырев // Моделирование и прогнозирование в биоэкологии. — Рига: Изд-во Рижского университета, 1982. — С. 59–72.
219. Кравченко Ю. С. Вплив технологій вирощування культур на якісний склад гумусу чорнозему типового / Ю. С. Кравченко, А. Д. Балаєв // Агрохімія і ґрунтознавство: міжвід. темат. наук. збірн. — Харків, 1998. — Ч. 2. — С. 60–61.
220. Костыльков И. Г. Эксергия почвы — мера ее плодородия / И. Г. Костыльков // Земледелие. — 1989. — № 2. — С. 37–41.
221. Косолап М. П. Система землеробства No-till / М. П. Косолап, О. П. Кротінов // Навч. посібник. — К.: Логос. — 2011. — 352 с.
222. Крупский Н. Г. Гумус в поглощаемом комплексе почв / Н. Г. Крупский // Пробл. почвоведения. — 1937. — Сб. 4 — С. 38–40.
223. Кузьмичев В. П. Продуктивность и качественная оценка почв свеклосеющих районов УССР / В. П. Кузьмичев, П. П. Макакурин [и др.] // Свойства и урожайность сахарной свеклы. — К.: Изд-во ВНИИ сах. свеклы, 1970. — 210 с.
224. Кузьмичев В. П. Природные свойства, продуктивность и оценка эродированных почв Украинской ССР / В. П. Кузьмичев // Агрохимия и почвоведение. — К., 1982. — Вып. 43.
225. Кузнецова И. В. Об оптимальной плотности почв / И. В. Кузнецова // Почвоведение. — 1990. — № 5. — С. 43–54.
226. Кузнецов В. М. О распределении по размерам фрагментов образующихся при разрушении твердого тела / В. М. Кузнецов, Л. Д. Лившиц // Известия АН СССР, сер. Физика земли. — 1984. — № 2. — С. 100–110.
227. Кузнецова М. В. К оценке роли различных составных частей почвы в создании водопроходной почвенной структуры / М. В. Кузнецова // Почвоведение. — 1966. — № 9. — С. 55–56.

228. Кузнецова И. В. Физические условия плодородия мощных черноземов / И. В. Кузнецова // Почвоведение. — 1967. — № 7. — С. 102–110.
229. Курлыкова М. В. Состав почвенного воздуха и его влияние на свойства дерново-подзолистой почвы : автореф. на соискание ученой степени канд. с.-х. наук / М. В. Курлыкова. — М.: Изд-во ТСХА, 1963. — 17 с.
230. Лапанова В. А. Водно-физические свойства почв Шполянского района Черкасской области / В. А. Лапанова // Научн. тр. УСХА. — 1960. — Т. 10. — С. 49–54.
231. Лактионов Н. И. Органическая часть почвы / Н. И. Лактионов // Лекция ХСХИ. — Харьков, 1988. — 35 с.
232. Лактионов Н. И. Методы изучения динамики органических коллоидов в черноземах при их сельскохозяйственном использовании / Н. И. Лактионов // Тр. Харьковск. с.-х. ин-та. — 1989. — Т. 170–172.
233. Лактионов Н. И. Влияние систем удобрений и способов обработки почвы на гумусовой режим черноземов обыкновенных слабоэродированных / Н. И. Лактионов, И. В. Карпенко // Особенности интенсивных приемов земледелия: сб. науч. тр. — Харьков, 1989. — С. 42–47.
234. Лактионов Н. И. Лабораторный практикум по почвоведению / Н. И. Лактионов, В. Д. Муха, С. Т. Вознюк. — Харьков, 1967. — 85 с.
235. Лактионова Т. Н. Изменение физических свойств чернозема при внесении навоза / Т. Н. Лактионова // Почвоведение. — 1990. — № 8. — С. 73–83.
236. Лактионова Т. Н. Физические аспекты экологической устойчивости почвы / Т. Н. Лактионова // Агрохімія і ґрунтознавство. — 1998. — Ч. 2. — С. 35–36.
237. Ландина М. М. Современное состояние и агромелиоративная оценка физических свойств почв Западной Сибири. Агрегатный состав / М. М. Ландина // Почвенно-физические условия мелиорации в Западной Сибири. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977. — С. 13–19.
238. Ландина М. М. Физические свойства и биологическая активность почв / М. М. Ландина. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986. — 142 с.
239. Ландина М. М. Почвенный воздух / М. М. Ландина. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1992. — 169 с.
240. Лебедев А. Ф. О движении воды в почве в парообразной форме / А. Ф. Лебедев // Бюлл. почв. — 1929. — № 1–3.
241. Лебедев А. Ф. Роль парообразной воды в режиме почвенных и грунтовых вод / А. Ф. Лебедев // Тр. 2-го южнорусского мелиор. съезда. — 1912.
242. Лебедева И. И. Карбонатные новообразования в черноземах левобережной Украины / И. И. Лебедева, С. В. Овечкин // Почвоведение. — 1975. — № 11. — С. 14–31.
243. Лисецкий Ф. Н. Оценка скорости воспроизводства почвенного ресурса / Ф. Н. Лисецкий // Докл. ВАСХНИЛ. — 1987. — № 6. — С. 16–18.
244. Лисецкий Ф. Н. Закономерности формирования гумусного горизонта зональных почв русской равнины / Ф. Н. Лисецкий // Агрохимия и почвоведение. — 1990. — Вып. 53. — С. 3–7.
245. Локоть Т. В. Влажность почвы в связи с культурными и климатическими условиями / Т. В. Локоть. — Киев. — 1904. — 334 с.
246. Ломакин М. М. Безотвальная обработка и внесение навоза / М. М. Ломакин // Земледелие. — 1986. — № 1. — С. 40–45.
247. Ломакин М. М. Мульчирующая обработка и содержание органического

- вещества в почве / М. М. Ломакин // Мульчирующая обработка почвы на склонах. — М.: Агропромиздат, 1988. — С. 12–20.
248. *Лыков А. М.* Гумус и плодородие почвы / А. М. Лыков. — М.: Моск. рабочий, 1985. — 192 с.
249. *Лындина Т. Е.* Регулирование роста корневых систем полевых культур при неблагоприятных физических свойствах почв / Т. Е. Лындина // Почвоведение. — 1991. — № 1. — С. 48–57.
250. *Мазур Г. А.* Гумус і родючість ґрунту / Г. А. Мазур // Агрохімія і ґрунтознавство: міжвід. тем. зб. — 2002. — Кн. 1. — С. 27–33 (спец. вип. до VI з'їзду УТГА).
251. *Макаров Б. Н.* Методы определения состава почвенного воздуха, интенсивность дыхания почвы и удобрений / Б. Н. Макаров // Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — С. 331–344.
252. *Макаров И. Н.* Теоретические и практические основы зональных систем обработки почвы / И. Н. Макаров // Минимализация обработки почвы. — М.: Колос, 1984. — С. 3–13.
253. *Макаров Б. Н.* Газовый режим почв / Б. Н. Макаров. — М.: Агропромиздат, 1988. — 104 с.
254. *Макаров И. П.* Последствия переуплотнения пахотных почв / И. П. Макаров, А. С. Кушнарев // Вестник с.-х. науки. — 1989. — № 8. — С. 50–56.
255. *Макаров И. П.* Задачи по разработке и внедрению ресурсосберегающей обработки почвы в зональных системах земледелия / И. П. Макаров // Ресурсосберегающие системы обработки почвы / Сб. науч. тр. — М.: ВО “Агропромиздат”, 1990. — С. 3–11.
256. *Мальцев Т. С.* Пути борьбы за непрерывное повышение плодородия / Т. С. Мальцев // Агробіологія. — 1951. — № 1.
257. *Мальцев Т. С.* Периодическая безотвальная пахота и поверхностное лушение / Т. С. Мальцев // Вестник с.-х. науки. — 1963. — № 4. — С. 10–12.
258. *Мальцев Т. С.* Предложение относительно возможности ускорения и упрочнения восстановления структуры почвы и ее плодородия / Т. С. Мальцев // Советское Зауралье. — 1974. — № 156.
259. *Мальцев Т. С.* Раздумье о земле, о хлебе / Т. С. Мальцев. — М.: Наука, 1985. — С. 296.
260. *Мальцев Т. С.* Вопросы земледелия / Т. С. Мальцев // Избранное. — 3-е изд. — М.: Агропромиздат, 1985. — 432 с.
261. *Мальцев Т. С.* О методах обработки почвы и посева / Т. С. Мальцев // Раздумье о земле, о хлебе. — М.: Наука, 1985. — С. 126–130.
262. *Мальцев Т. С.* Вопросы земледелия (избранное) / Т. С. Мальцев // 3-е изд. — М.: Агропромиздат. — 1985. — 432 с.
263. *Мальцев Т. С.* Система безотвального земледелия / Т. С. Мальцев. — М.: Агропромиздат, 1988. — 128 с.
264. *Марков М. П.* Інтенсивна технологія та глибина висіву насіння кукурудзи / М. П. Марков, Л. Г. Максимова // Вісник аграрної науки. — 1993. — № 12. — С. 30–35.
265. *Матсон С.* Почвенные коллоиды / С. Матсон. — М.: Сельхозгиз, 1938. — 300 с.
266. *Маттис Э. В.* Режим влажности почвы и ее агрофизические свойства в зависимости от способов предпосевной обработки на разных фонах удобрений / Э. В. Маттис // Совершенствование контроля регулирования влажности почв. — М., 1983. — С. 18–25.

267. *Медведев В. В.* Агрофізичні параметри посівного шару ґрунту при вирощуванні зернових культур / В. В. Медведев, Д. И. Назарова // Вісник с.-г. науки. — 1979. — № 6. — С. 5–7.
268. *Медведев В. В.* Влияние плоскорезной обработки почвы на плодородие южных черноземов / В. В. Медведев, Д. И. Назарова, В. И. Нестеренко [и др.] // Защита почв от эрозии. — 1981. — С. 62–70.
269. *Медведев В. В.* Теоретические и практические основы оптимизации физических свойств черноземов: автореф. дис. на соискание ученой степени доктора биол. наук / В. В. Медведев. — М., 1982. — 47 с.
270. *Медведев В. В.* Методология разработки оптимальной модели корнеобитаемого слоя почвы с применением ЭВМ. Плодородие почв: проблемы, исследования, модели / В. В. Медведев // Тр. ин-та им. Докучаева. — 1985. — С. 44–50.
271. *Медведев В. В. Булыгин С. Ю.* Физическая характеристика чернозема обыкновенного при отвальной и безотвальной обработках / В. В. Медведев // Почвоведение. — 1986. — № 2. — С. 45–50.
272. *Медведев В. В.* Физическая деградация черноземов, ее причины, следствия и пути устранения / В. В. Медведев // Успехи почвоведов. Советские почвоведы к XII Межд. контр. почвоведов. — М.: Наука, 1986. — С. 23–26.
273. *Медведев В. В.* Опыт почвенно-технологического районирования на примере Украинской ССР / В. В. Медведев // Почвоведение. — 1988. — № 12. — С. 68–79.
274. *Медведев В. В.* Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведев. — М.: ВО Агропромиздат, 1988. — 160 с.
275. *Медведев В. В.* Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины / В. В. Медведев // Почвоведение. — 1990. — № 5. — С. 20–29.
276. *Медведев В. В.* Наукові передумови мінімалізації основного обробітку ґрунту і перспективи його впровадження в Україні / В. В. Медведев, Т. С. Линдіна // Вісник аграрної науки. — 2001. — № 7. — С. 5–9.
277. *Медведев В. В.* Оптимізація ґрунтово-агрохімічних і агротехнічних факторів / В. В. Медведев // Вісник аграрної науки. — 2001. — № 2. — С. 9–11.
278. *Медведев В. В.* Ґрунти і українське суспільство у ХХІ сторіччі / В. В. Медведев // Агрохімія і ґрунтознавство: міжвід. темат. зб. — 2002. — Кн. 1. — С. 1–16 (спецвипуск до 6 з'їзду УТґА).
279. *Медведев В. В.* Вплив структури ґрунту на фільтраційну здатність / В. В. Медведев, Т. М. Лактіонова, Л. Г. Почепцова // Вісник аграрної науки. — 2003. — № 3. — С. 5–9.
280. *Медведовський О. К.* Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві / О. К. Медведовський, П. І. Іваненко. — К.: Урожай, 1988. — 208 с.
281. *Методическое* руководство по изучению водного режима почв и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур // Под ред. И. Н. Скрытникова. — М., 1986. — 141 с.
282. *Методические* указания по определению содержания и состава гумуса в почвах // Под ред. В. В. Пономаревой, Плотниковой. — Ленинград, 1975. — 104 с.
283. *Методические* указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями / Методика опытов и анализа почв. // Под ред. В. Д. Паникова. — М.: Мысль, 1975. — 168 с.

284. *Минаев В. С.* Направленное использование парообразной воды приземных слоев воздуха в засушливых районах / Минаев В. С. // Земледелие. — 1961. — № 2.
285. *Минеев В. Г.* Агрохимия и биосфера / В. Г. Минеев. — М.: Колос, 1984. — 246 с.
286. *Минеев В. Г.* Химизация земледелия и природная среда / В. Г. Минеев. — М.: ВО “Агропромиздат”, 1990. — 287 с.
287. *Михайлов Б. Д.* Влияние структурного состояния почвы и глубины междурядных обработок на величину испарения / Б. Д. Михайлов. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1955. — 68 с.
288. *Мишустин Е. Н.* Микробиология / Е. Н. Мишустин, В. Т. Емцев. — М.: Колос, 1970. — 210 с.
289. *Мичурин Б. Н.* Новые методы определения некоторых водных свойств почв и грунтов / Б. Н. Мичурин // Сб. работ по методике исследований в области физики почв. — 1964. — С. 164–171.
290. *Мичурин Б. Н.* Взаимная зависимость между содержанием влаги, всасывающим давлением и удельной поверхностью / Б. Н. Мичурин, И. А. Лытаев // Почвоведение. — 1967. — № 8. — С. 70–75.
291. *Михайлов Б. Д.* Влияние структурного состояния почвы и глубины междурядных обработок на величину испарения / Б. Д. Михайлов. — Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1955. — 68 с.
292. *Михайлов Б. Д.* Новые возможности сохранения влаги в почве / Б. Д. Михайлов. — “Советское хоз. Узбекистана”, 1961. — № 1. — С. 89–90.
293. *Михайлина В. П.* Минимальная обработка при выращивании сельскохозяйственных культур / В. П. Михайлина // Земледелие. — 1978. — № 8.
294. *Мозжерин Н. М.* Действие температуры и влажности на процесс биологической фиксации азота в выщелоченном черноземе с различными органическими добавками / Н. М. Мозжерин // Микробные ассоциации и их функционирование в почвах Западной Сибири. — Новосибирск: Наука. — С. 174–178.
295. *Моргун Ф. Т.* Гидрологическая и почвозащитная роль различных агротехнических мероприятий на склоновых землях / Ф. Т. Моргун, Н. К. Шикула, А. Г. Тарарико // Почвозащитное земледелие. — К.: Урожай. — 1988. — 2-е изд. — С. 127–169.
296. *Моргун Ф. Т.* Агроэкологическое и экономическое обоснование почвозащитной системы земледелия для ландшафтов лесостепи Украины: автореферат дис. на соискание ученой степени доктора с.-х. наук / Ф. Т. Моргун. — К., 1995. — 52 с.
297. *Морозов А. Т.* Методы расчета передвижения парообразной влаги в почвогрунтах / А. Т. Морозов // Тр. ун-та гидр. и мелиор. — М., 1938. — Т. 22.
298. *Мусяненко Н. Н.* Функции корневой системы / Н. Н. Мусяненко, А. И. Тернаевский // Корневое питание растений. — К.: Вища школа, 1989. — С. 33–37.
299. *Мухортов Я. Н.* Регулирование строения пахотного слоя выщелочного чернозема в системах обработки почв в севообороте / Я. Н. Мухортов // Теоретические вопросы обработки почв. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — С. 150–158.
300. *Надточий П. П.* Определение кислотно-основной буферности почв / П. П. Надточий // Почвоведение. — 1993. — № 4. — С. 34–39.
301. *Назаров Д. И., Бреус Н. И.* Агрофизическая характеристика черноземов

- типичных Левобережной Лесостепи УССР / Д. И. Назаров // Почвоведение. — 1975. — № 1. — С. 70–75.
302. *Назаренко Г. В.* Відносна вага коренів рослин як критерій оцінки щільності ґрунту / Г. В. Назаренко // Родючість ґрунту і умови її формування. — К., 1973. — С. 101–108.
303. *Назаренко Г. В.* Стартовый эффект запасного внесения фосфорных удобрений как фактор увеличения сбора сахара / Г. В. Назаренко, М. П. Орлов // Совершенствование технологии выращивания технических культур. — К., 1984.
304. *Назаренко Г. В.* Направленная сезонная ритмичность черноземов типичных и факторы ее определяющие / Г. В. Назаренко // Земельнооценочные проблемы Сибири и Дальнего Востока: тез. науч. конф. — Барнаул, 1986. — С. 40–41.
305. *Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України* / М. В. Присяжнюк, С. І. Мельник, В. А. Жилкін, В. П. Ситник, М. Д. Безуглий, С. А. Балюк, В. В. Медведев та інші // Мінагрополітики, Центрдержродючість, ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського, НУБіП. — 2010. — 106 с.
306. *Нерпин С. В.* О передвижении воды в почве в зависимости от размеров агрегатов. Гидрофизика и структура почвы / С. В. Нерпин, Н. А. Соколовская, И. Б. Ревут. — Л.: Гидрометеиздат, 1965. — С. 61–74.
307. *Николис Г.* Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. — М.: Мир, 1979. — 512 с.
308. *Ничипорович А. А.* Фотосинтез, почва и единая система питания и продуктивности растений / А. А. Ничипорович // Параметры модели плодородия почв и продуктивности агроценозов: сб. науч. труд. — Пушкино, 1985. — С. 5–27.
309. *Новиков М. А.* Состав почвенного воздуха и урожай кукурузы / М. А. Новиков // Весн. с.-х. науки. — 1964. — № 9. — С. 38–45.
310. *Носко Б. С.* Повышения плодородия черноземных почв Украины / Б. С. Носко, Г. Я. Чесняк // Актуальные проблемы земледелия. — М.: Колос, 1985. — С. 43–49.
311. *Носко Б. С.* Баланс гумуса в почве Украины в условиях интенсификации земледелия / Б. С. Носко, В. В. Медведев, Г. Я. Чесняк, А. А. Бацула // Тез. докл. совещания “Проблемы гумуса в земледелии”, 5–8 августа 1986. — Новосибирск, 1986. — С. 12–14.
312. *Носко Б. С.* Оптимизация режимов и свойств черноземов Украины / Б. С. Носко, Г. Я. Чесняк, В. Кукоба // Вестн. с.-х. науки. — 1986. — № 7. — С. 53–58.
313. *Носко Б. С.* Докучаевское почвоведение и современные вопросы изучения черноземов Украины и Молдавии. 100 лет генетического почвоведения / Б. С. Носко, Н. Б. Вернардер [и др.]. — М.: Наука, 1986. — С. 211–218.
314. *Носко Б. С.* Гумусний стан ґрунтів — функція системи землеробства / Б. С. Носко, А. А. Бацула, Е. А. Головачев [и др.]. // Забезпечення бездефіцитного балансу гумусу у ґрунті. — К.: Урожай, 1987. — С. 57–77.
315. *Носко Б. С.* Экологическое последствие применения минеральных и органических удобрений / Б. С. Носко, Г. М. Кривоносова, А. Д. Кириченко, А. А. Бацула // Чтобы не убывало плодородие земли. — К.: Урожай, 1989. — С. 45–65.

316. Носко Б. С. Проблемы использования земли в условиях реформирования сельскохозяйственного производства и проведения земельной реформы / Б. С. Носко // Тезисы докладов межд. Конф. 8–9 июля 1995. — Киев–Чабаны, 1995.
317. Носко Б. С. Шляхи збереження чорноземів України / Б. С. Носко // Вісник аграрної науки. — 2003. — № 1. — С. 24–28.
318. *Обработка* почвы при интенсивном возделывании полевых культур / Т. Карвовский, И. Касимов [и др.]; пер. с польск. Н. А. Чупеева. — М.: Агропромиздат, 1988. — 248 с.
319. Овсинский И. Е. Новая система земледелия / И. Е. Овсинский. — К., 1899.
320. *Определение* карбонатов методом Голубева // Агрохимические методы исследования почв. — Изд-во: Наука, 1975. — С. 25–26.
321. Орликовский П. Обработка почвы под сахарную свеклу / П. Орликовский. — М.: ВОО Агропромиздат, 1988. — С. 227–236.
322. Орлов Д. С. Процесс гумификации и информативности показателей гумусного состояния почв / Д. С. Орлов // Современные проблемы гумусообразования. — М.: Изд-во МГУ, 1986.
323. Орлов Д. С. Методы изучения газовой функции почв / Д. С. Орлов, О. И. Минько, С. В. Каспаров [и др.] // Современные физические и химические методы исследования почв. — М., 1987. — С. 118–156.
324. Панников Н. С. Количественное описание газообмена CO_2 и O_2 в связи с метаболизмом почвенных микроорганизмов / Н. С. Панников // Роль организмов в газообмене почв. — М.: Изд-во МГУ, 1986. — С. 14–27.
325. *Практикум по агрохимии* // Под ред. Б. А. Ягодина. — М.: ВО “Агропромиздат”, 1987. — 510 с.
326. Просунко В. М. Оценка обеспеченности сельскохозяйственных культур почвенной влагой в критические периоды развития / В. М. Просунко // Тез. Докл. науч. конф. Укр НИПТИ. — Агроресурсы, 1995. — С. 30–31.
327. *Подсолнечник* / под ред. В. С. Пустовойта. — М.: Колос, 1975. — С. 50–60.
328. *Полынов Б. Б.* Время как фактор почвообразования / Б. Б. Полынов. — Изд-во Докуч. почв. комитета, 1916. — № 3–4. — С. 156–171.
329. *Полынов Б. Б.* Генетический анализ морфологии почвенного профиля / Б. Б. Полынов // Тр. Почв. Ун-та им. В. В. Докучаева. — 1930. — Вып. 3–4. — 250 с.
330. Полупан М. І. Функціонально-екологічні параметри ґрунтоутворення, його діагностика та класифікація / М. І. Полупан // Ґрунтознавство і агрохімія. — 1998. — Кн. 1. — С. 32–37.
331. Полупан М. І. Диагностика окультуренных эталонов почв при фоновом мониторинге земельных ресурсов / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, С. П. Абрамов // Агрохімія і ґрунтознавство. — 1999. — № 2. — С. 40–45.
332. Полупан М. І. Визначення природного потенціалу ґрунтів акумулятивного типу / М. І. Полупан, В. Б. Соловей // Агрохімія і ґрунтознавство. — 1999. — № 11. — С. 12–20.
333. Полупан М. І. Класифікація ґрунтів України / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. А. Величко // Ґрунтознавство і агрохімія на шляху до сталого розвитку України. — 2002. — Кн. 1. — С. 129–138.
334. Польских М. К. К вопросу о порозности почвенных агрегатов / М. К. Польских // Почвоведение. — 1949. — № 4. — С. 30–35.

335. Поляков А. Н. Микроморфологическое исследование и морфометрия карбонатных черноземов Предкавказья / А. Н. Поляков, Ю. Е. Ярилова, Ю. Е. Кизяков // Почвоведение. — 1972. — № 11. — С. 91–99.
336. Пономарева В. В. О генезисе гумусового профиля черноземов / В. В. Пономарева // Почвоведение. — 1974. — № 7. — С. 80–90.
337. Пономарева В. В. Главные функциональные свойства гумусовых кислот / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова // Гумус и почвообразование. — Л.: Наука, 1980. — С. 70–110.
338. Пономарева В. В. Гумус и почвообразование / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. — М.: Наука, 1980. — С. 113–148.
339. Почвы СССР // под ред. Г. В. Добровольского. — М.: Мысль, 1979. — 380 с.
340. Почвы Украинской ССР // Карта. — М. 1:750000. — М.: ГУГК, 1973.
341. Поясов Н. П. К вопросу об аэробных и анаэробных условиях в почве по данным состава почвенного воздуха / Н. П. Поясов // Вопросы агрономической физики. — Л.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1957.
342. Поясов Н. П. Аэрация почвы / Н. П. Поясов // Основы агрофизики. — М.: Физматгиз, 1959. — С. 819–903.
343. Пида С. В. Кореневі виділення: хімічний склад, значення в алелопатії та перспективи використання / С. В. Пида, С. П. Машковська // Агроекологічний журнал. — 2003. — № 3. — С. 47–51.
344. Рабинович В. А. Применение платинированных электродов для полевых определений ОВП / В. А. Рабинович, О. В. Куровская // Почвоведение. — 1953. — № 4. — С. 40–45.
345. Рассел М. Б. Аэрация почвы и развитие растений / М. Б. Рассел; пер. с англ. Е. А. Яриловой. — М.: Изд-во иностр. лит., 1955. — С. 172–205.
346. Ревут И. Б. О некоторых физических условиях в структурных почвах в связи с содержанием пылевых фракций / И. Б. Ревут, Н. П. Поясов // Сб. трудов по агроном. физике. — 1953. — Вып. 6. — С. 228–242.
347. Ревут И. Б. Плотность почвы и ее плодородие / И. Б. Ревут, В. Г. Лебедева, И. И. Абрамов // Сб. трудов по агроном. физике. — Л.: Сельхозгиз, 1962. — Вып. 10. — С. 154–166.
348. Ревут И. Б. Структура и плотность почвы — основные параметры, кондиционирующие почвенные условия жизни растений / И. Б. Ревут, Н. А. Соколовская, А. М. Васильев. — Л.: Гидрометеоиздат, 1971. — С. 51–126.
349. Ревут И. Б. Физика почв / И. Б. Ревут. — Л.: Колос, 1972. — 365 с.
350. Ревут И. Б. Лабораторный экспресс-метод исследования биофизических процессов в почве / И. Б. Ревут, А. Г. Гончар-Зайкин // Теоретические вопросы обработки почв. — 1972. — Вып. 3. — С. 207–303.
351. Ревут И. Б. Химические способы воздействия на испарения и эрозию почв / И. Б. Ревут, Г. А. Масленникова, И. А. Романов. — М.: Гидрометеоиздат, 1973. — 150 с.
352. Ремезов Н. П. Противоположные процессы как основа генетического развития почв / Н. П. Ремезов // Почвоведение. — 1932. — № 2. — С. 101–120.
353. Ремезов Н. П. Коагуляция почвенных коллоидов и образование почвенной структуры / Н. П. Ремезов // Константин Казтанович Гедройц. — М.: Сельхозгиз, 1952. — С. 54–64.
354. Ремезов Н. М. Почвы, их свойства и распространение / Н. М. Ремезов. — М.: Учпедгиз, 1952. — 300 с.

355. Ремезов Н. П. Химия и генезис почв / Н. П. Ремезов. — М.: Наука, 1989. — 272 с.
356. Рижук С. М. Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах / С. М. Рижук, В. В. Медведєв / ННЦ “ІГА”. Мін АП. — Київ-Харків, 2003. — 213 с.
357. Розанов Б. Г. Генетическая морфология почв / Б. Г. Розанов. — М.: Изд-во МГУ, 1975. — 292 с.
358. Розанов Б. Г. Основы учения об окружающей среде / Б. Г. Розанов. — М.: Изд-во МГУ, 1984. — 327 с.
359. Розанов Б. Г. Расширенное воспроизводство почвенного плодородия / Б. Г. Розанов // Почвоведение. — 1987. — № 2. — С. 5–16.
360. Розанов Б. Г. Во что обходится деградация почв / Б. Т. Розанов, Д. С. Орлов // Вестник Агропрома, 1989.
361. Роде А. А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв / А. А. Роде. — М.: ОГИЗ, 1947. — 142 с.
362. Роде А. А. Почвенная влага / А. А. Роде. — М.: Изд-во АН СССР, 1952. — 280 с.
363. Роде А. А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв (1947) / А. А. Роде // Генезис почв и современные процессы почвообразования. — М.: Наука, 1984. — С. 56–136.
364. Ротмистров В. Г. Корневая система сельскохозяйственных растений и урожай / В. Г. Ротмистров // Советская агрономия. — 1937. — № 10. — С. 18–20.
365. Рыжов С. Н. Богомолов В. З. Испарение из структурной и распыленной почвы / С. Н. Рыжов // Почвоведение. — 1934. — № 1. — С. 61–72.
366. Рябов Е. И. Теория и технология минимальной обработки почвы / Е. И. Рябов // Земледелие. — 1990. — № 1. — С. 27–32.
367. Рябов Е. И. Почвозащитная система земледелия на основе минимальной обработки / Е. И. Рябов, А. М. Белозеров, С. И. Бурыкин // Земледелие. — 1992. — № 1. — С. 31–35.
368. Сабинин Д. А. Исследования над поступлением веществ в растения / Д. А. Сабинин, И. И. Колосов // Труды ВИУАА. — М., 1935. — Вып. 8.
369. Сабинин Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений / Д. А. Сабинин. — М.: Наука, 1971. — 512 с.
370. Савченко Т. И. Буферность почв и факторы почвенной кислотности / Т. И. Савченко // Химизация сельского хозяйства. — 1989. — № 2. — С. 40–43.
371. Садовский М. А. Естественная кусковатость горной породы / М. А. Садовский // Док. АН СССР. — 1979. — Т. 241. — № 4. — С. 829–831.
372. Садовский М. А. Соподчиненность и подобие геодвижений в связи с естественной кусковатостью горных пород / М. А. Садовский // Док. АН СССР. — 1980. — № 4. — Т. 250. — С. 250–253.
373. Садовский М. А. О свойстве дискретности горных пород / М. А. Садовский // Изв. АН СССР, сер. физика Земли. — 1982. — № 12. — С. 300–310.
374. Садовский М. А. О распределении размеров твердых отделистостей / М. А. Садовский // Док. АН СССР. — 1983. — Т. 269. — № 1. — С. 69–72.
375. Садовский М. А. Характерные размеры горной породы и иерархические свойства сейсмичности / М. А. Садовский // Изв. АН СССР, сер. Физика Земли. — 1984. — № 2. — С. 30–40.
376. Садовский М. А. Деформация геофизической среды и сейсмологического пространства / М. А. Садовский. — М.: Наука, 1987. — 300 с.

377. *Сакун В. А.* О применении в исследованиях метода В. П. Горячкина и В. А. Желиговского / В. А. Сакун // Вестник с.-х. науки. — 1971. — № 12. — С. 43–48.
378. *Самцевич С. А.* Вплив ґрунтових та кліматичних умов на ріст коріння деревних рослин / С. А. Самцевич // Праці ін-ту лісівництва АН УССР. — 1951. — Т. 2.
379. *Самцевич С. А.* Изменение органического вещества в южном черноземе под влиянием дубовых насаждений / С. А. Самцевич, Т. Д. Катеринич // Почвоведение. — 1953. — № 4. — С. 15–22.
380. *Самцевич С. А.* Гелеобразные корневые выделения растений и их действие на почву и корневую микрофлору / С. А. Самцевич // Методы изучения продуктивности корневых систем: межд. симпозиум. — Л., 1968. — 250 с.
381. *Стрельченко В. П.* Формування профілю ґрунту при систематичному використанні ґрунтозахисної агротехніки / В. П. Стрельченко, С. В. Журавель // Вісник аграрної науки. — 2002. — № 8. — С. 5–7.
382. *Соболев Ф. С.* Роль поглощенного воздуха в явлениях почвенной структуры и новый метод его определения / Ф. С. Соболев, М. В. Чапек // Научн. агроном. журнал. — 1930. — № 1.
383. *Системы и методы рационального землепользования* // Рациональное использование растительных остатков культур при беспахотной обработке почвы, при обработке почвы с образованием мульчирующего слоя, а также при гребневой обработке почвы. — Iowa Export-Import, 1999. — 186 с.
384. *Свищук А. О.* Сезонна динаміка гумусу чорнозему України і способи його відтворення: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. с.-г. наук / А. О. Свищук. — К., 1993. — 20 с.
385. *Свищук А. О.* Сезонная динамика гумуса чернозёма типичного при различном его использовании / А. С. Свищук // Тез. док. — Днепрпетровск. — 1992. С.9-10.
386. *Свентицкий И.* Методическая основа комплексного биоэнергетического подхода к количественной оценке плодородия и мелиорации почв / И. Свентицкий. — Пушкино, 1980. — 115 с.
387. *Свентицкий И. И.* Основные принципы биоэнергетического системного подхода при с.-х. использовании земель / И. А. Свентицкий // Вопросы инженерной экологии землепользования. — М., 1980. — Вып. 96.
388. *Свентицкий И. И.* Биоклиматическая оценка плодородия геодермы / И. И. Свентицкий // Почвоведение. — 1992. — № 4. — С. 91–99.
389. *Ситников А. М.* Водный режим почвы и урожай яровой пшеницы в связи с приемами обработки пара в черноземной лесостепи Омской области / А. М. Ситников, А. А. Самборский, В. Г. Посаженников [и др.] // Пути повышения урожайности зерновых культур. — Омск, 1984. — С. 14–17.
390. *Соколов И. А.* Почвообразование и время: поликлиматность и полигенетичность почв / И. А. Соколов // Почвоведение. — 1984. — № 2. — С. 102–113.
391. *Соколов И. А.* Основные законы почвообразования / И. А. Соколов // 100 лет генетического почвоведения. — М.: Наука, 1986. — С. 126–136.
392. *Соколова Т. А.* Химические основы буферности почв / Т. А. Соколова, Г. В. Мотузова, Т. Малинина [и др.]. — М.: Изд-во МГУ, 1991. — С. 108.
393. *Соколовский А. Н.* Из области явлений, связанных с коллоидальной частью

- почвы / А. Н. Соколовский // Известия Петровской с.-х. академии. — 1921. — С. 185—225.
394. *Соколовский А. Н.* Сельскохозяйственное почвоведение / А. Н. Соколовский. — М., 1956. — С. 100—101.
395. *Сорочкин В. М.* Водопроницаемость и физические свойства почвы / В. М. Сорочкин // Почвоведение. — 1975. — С. 45—50.
396. *Сорочкин В. М.* К механизму формирования структуры обрабатываемых лесостепных почв / В. М. Сорочкин, Л. П. Орлова, Е. В. Кучеряева // Почвоведение. — 1990. — № 6. — С. 51—58.
397. *Соколов И. А.* Почвообразование и время: поликлиматичность и полигенетичность почв / И. А. Соколов // Почвоведение. — 1984. — № 2. — С. 102—113.
398. *Сочеванов Н. Н.* Количественная закономерность между упругостью водяного пара и количеством воды, сорбированной почвой / Н. Н. Сочеванов // Почвоведение. — 1955. — № 9.
399. *Станков Н. З.* Корневая система полевых культур / Н. З. Станков. — М.: Колос, 1964. — 279 с.
400. *Стойнев К.* Влияние обработки почвы на сохранение почвенной влаги / К. Стойнев / Обработката на почви — важен фактор за запазване на почвенната влага // Почвоведение. Агрохимия. — 1984, № 19. Т. 2. — С. 19—24.
401. *Судницин И. И.* Движение почвенной влаги и водопотребление растений / И. И. Судницин. — М.: Изд-во МГУ, 1979. — 254 с.
402. *Тараріко Ю. О.* Енергетична характеристика основних типів ґрунтів України залежно від способів використання / Ю. О. Тараріко // Вісник аграрної науки. — 2000. — № 4. — С. 14—18.
403. *Таргульян В. О.* Развитие почв во времени / В. О. Таргульян // Проблемы почвоведения. — М.: Наука, 1982. — С. 108—113.
404. *Тот Т.* Обработка почвы под кукурузу / Тибор Тот // Обработка почвы при интенсивном возделывании посевных культур. — М.: ВО Агропромиздат, 1988. — С. 179—190.
405. *Трегубов П. С.* Плодородие эродированных почв и пути его повышения / П. С. Трегубов, М. Н. Заславский // Проблемы почвоведения / Советские почвоведы к XII Международному конгрессу в Индии, 1982. — М.: Наука, 1982. — С. 221—225.
406. *Трегубов П. С.* Современные проблемы почвозащитного земледелия / П. С. Трегубов, М. С. Кузнецов [и др.] // 100 лет генетического почвоведения. — М.: Наука, 1986. — С. 55—61.
407. *Тюрин И. В.* Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И. В. Тюрин. — М.: Наука, 1965. — 190 с.
408. *Тюлин А. Ф.* Вопросы почвенной структуры в лесу / А. Ф. Тюлин // Почвоведение. — 1954. — № 1. — С. 40—50.
409. *Тюрин И. В.* Вопросы генезиса и плодородия почв / И. В. Тюрин. — М., 1966. — 210 с.
410. *Тюрюканов А. Н.* Проблемы и перспективы применения ионселективных электродов в почвоведении и агрономии / А. Н. Тюрюканов // Ионметрия в почвоведении. — Пушкино, 1987. — 120 с.
411. *Тулайков Н. М.* За пропашные культуры против травополя / Н. М. Тулайков. — МСХ РСФСР. — М., 1962. — 160 с.

412. *Тихоненко Д. Г.* Долинно-ландшафтні геосистеми як арена пізнюкайнозойського ґрунтоутворення в контексті періоду концептуальних основ землекористування / Д. Т. Тихоненко, М. О. Горін, В. І. Сидоренко // *Агрохімія і ґрунтознавство*. — Харків. — 1998. — Ч. 1. — С. 19–25.
413. *Тихоненко Д. Г.* Методологія пошуку стратегій землекористування при дослідженні педогенезу та окультурюванні ґрунтів долинних ландшафтів / Д. Т. Тихоненко, М. О. Горін, В. І. Сидоренко // *Агрохімія і ґрунтознавство*. — Харків. — 2002. — С. 40–53.
414. *Тихоненко Д. Г.* Значення “Русского чернозёма” В. В. Докучаева в розвитку ґрунтознавства / Д. Т. Тихоненко / *Вісн. ХНАУ*, серія “ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство”. — Харків. — 2009. — №1. — С. 5–12.
415. *Тихоненко Д. Г.* Фізичні основи родючості ґрунтів / В. В. Дегтярьов, В. А. Величко // *Вісник аграрної науки*. — 2012. — № 12. — С. 6–9.
416. *Фолкнер Э.* Безумие пахаря / Э. Фолкнер. — М.: Сельхозгиз, 1959.
417. *Фейгенбаум М.* Универсальное поведение в нелинейных системах / М. Фейгенбаум // *Успехи физ. науки*. — 1983. — Т. 141. — Вып. 2. — С. 343–374.
418. *Фриланд В. М.* Структура почвенного покрова / В. М. Фриланд. — М.: Мысль, 1972. — 252 с.
419. *Хохлачев В. В.* Древнейший злак / В. В. Хохлачев. — К.: Урожай, 1989. — 216 с.
420. *Циков В. С.* Прогрессивная технология выращивания кукурузы / В. С. Циков. — К.: Урожай, 1984. — 192 с.
421. *Циков В. С.* Почвозащитная обработка в системе интенсивной технологии / В. С. Циков // *Кукуруза и сорго*. — 1986. — № 6. — С. 1–13.
422. *Циков В. С.* Интенсивная технология возделывания кукурузы / В. С. Циков, Л. А. Матюха. — М.: Агропромиздат, 1989. — С. 34–57.
423. *Циков В. С.* Интенсивная технология возделывания кукурузы / В. С. Циков // *Научные основы устойчивого ведения зернового хозяйства*. — К., 1989. — С. 235–252.
424. *Цобель М. Р.* Кислородный режим почв заболоченных и болотных местообитаний ЭССР / М. Р. Цобель // *Почвоведение*. — 1987. — № 6. — С. 65–70.
425. *Чесняк Г. Я.* Гумусовое состояние черноземов / Г. Я. Чесняк, Ф. Я. Гаврилюк, И. А. Крупенников [и др.] // *Русский чернозем — 100 лет после Докучаева*. — М.: Наука, 1983. — С. 186–198.
426. *Чесняк Г. Я.* Параметры потерь гумуса и коэффициенты гумификации растительных остатков и органического вещества навоза в черноземах типичных Лесостепи УССР / Г. Я. Чесняк // *Тез. докл. VII делегатского съезда Всесоюзного о-ва почвоведения*. — Ташкент: Изд-во АН СССР ВОП, 1985. — С. 10–17.
427. *Чесняк Г. Я.* Расчет баланса гумуса и норм органических удобрений для обеспечения его бездефицитного содержания в черноземных почвах Левобережной Лесостепи УССР / Г. Я. Чесняк, Н. М. Зинченко // *Методические рекомендации УНИИПА*. — Харьков, 1987. — 92 с.
428. *Чесняк Г. Я.* Культурный почвообразовательный процесс в черноземах типичных Лесостепи Украины: закономерности, управление, прогноз / Г. Я. Чесняк // *В. В. Докучаев и современное почвоведение: сб. тр. посвящ. 100-летию кафедры почвоведения*. — Харьков, 1994. — С. 32–37.

429. *Шашко Д. И.* Агроклиматическое районирование СССР / Д. И. Шашко. — М.: Колос, 1985. — 195 с.
430. *Швебс Г. И.* Теоретические вопросы почвозащитного Земледелия / Г. И. Швебс // Вестн. с.-х. науки. — 1986. — № 8. — С. 53–62.
431. *Шенявский А. Л.* Оценка плодородия почвы методом гумусового баланса / А. Л. Шенявский. — М.: ВНИИТЭСХ, 1973. — 28 с.
432. *Шикула М. К.* Післяжнивні рештки у ґрунтозахисному землеробстві / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // У збірн. праць ІЗ УААН. — К., 2003. — С. 121–131.
433. *Шикула Н. К.* Ответ оппонентам бесплужного земледелия / Н. К. Шикула // Земледелие. — 1989. — № 11. — С. 11–17.
434. *Шикула Н. К.* Минимальная обработка черноземов и фактор времени / Н. К. Шикула, Г. В. Назаренко, М. П. Орлов // Вест. с.-х. науки. — 1989. — № 7. — С. 100–107.
435. *Шикула Н. К.* Практическая концепция почвозащитного бесплужного земледелия / Н. К. Шикула // Проблемы землепользования на современном этапе перестройки. — Киев. — Вып. 1. — С. 42–46.
436. *Шикула Н. К.* Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия / Н. К. Шикула, Г. В. Назаренко. — М.: Агропромиздат, 1990. — 320 с.
437. *Шикула Н. К.* Почвозащитная бесплужная обработка полей / Н. К. Шикула. — М.: Знание, 1990.
438. *Шикула Н. К.* Эффективность бесплужной обработки / Н. К. Шикула, А. В. Демиденко // Масличные культуры. — 1987. — № 4. — С. 27–28.
439. *Шикула Н. К.* Почвозащитные технологии бесплужного возделывания сельскохозяйственных культур в типовых севооборотах Южной Степи УССР / Н. К. Шикула, А. Ф. Гнатенко, А. В. Демиденко // Метод. реком. — К., 1988. — 135 с.
440. *Шикула Н. К.* Ассимиляция углекислоты почв и почвенного воздуха с образованием белковых веществ гетеротрофными микроорганизмами и воспроизводство гумуса / Н. К. Шикула, А. Ф. Гнатенко, А. В. Демиденко // Физиологические механизмы азотного питания растений. — К.: АН Ук-раины, 1991. — С. 140–144.
441. *Шикула Н. К.* Биологическое земледелие как способ воспроизводства почвенного плодородия / Н. К. Шикула, А. Д. Балаев, А. В. Демиденко, Н. Н. Доля // Биоконверсия органических отходов и охрана окружающей среды: мат. межд. симп. — К.: Изд-во эколог. фонда, 1994. — С. 53–54.
442. *Шикула М. К.* Методичні рекомендації по відтворенню гумусу у ґрунті / М. К. Шикула, А. Д. Балаев, О. В. Демиденко // Науково-технічні розробки. — К., 1995. — С. 10–15.
443. *Шикула М. К.* Відтворення гумусу та механізм саморегуляції ґрунтової родючості / М. К. Шикула, О. В. Демиденко, М. В. Капштик // Ґрунти України: екологія, еволюція: тези доп. ХДАУ. — 1996. — С. 5–6.
444. *Шикула М. К.* Безплужний обробіток при вирощуванні соняшнику / М. К. Шикула, О. В. Демиденко, В. А. Слепцов // Земля і люди України. — 1997. — № 1. — С. 16–18.
445. *Шикула Н. К.* Наукові аспекти екологічного землеробства / Н. К. Шикула, А. Ф. Гнатенко, А. В. Демиденко // Современные проблемы охраны земель:

- тр. Межгос. науч. конф., Киев, 10–12 сентября, 1997, НАН України. — К.: СОПС, 1997. — Ч. 2. — С. 1–5.
446. *Шикула М. К.* Основні принципи багатопараметричної самоорганізації та дискретності зміни родючості чорнозему в агроценозі при ґрунтозахисному землеробстві / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві; під ред. М. К. Шикули. — К.: Оранта, 1998. — С. 300–314.
447. *Шикула М. К.* Агрономічна ефективність ґрунтозахисних технологій вирощування культур / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві; під ред. М. К. Шикули. — К.: Оранта, 1998. — С. 538–586.
448. *Шикула М. К.* Менеджмент інноваційної діяльності при впровадженні ґрунтозахисного землеробства / М. К. Шикула, О. В. Демиденко, Ю. В. Андріяко // Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві; під ред. М. К. Шикули. — К.: Оранта, 1998. — С. 634–6645.
449. *Шикула М. К.* Менеджмент інноваційної діяльності при впровадженні ґрунтозахисного біологічного землеробства / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні; за ред. М. К. Шикули. — К.: Оранта, 2000. — С. 311–315.
450. *Шикула М. К.* Дискретність зміни рівня родючості чорнозему під впливом ґрунтозахисних технологій біологічного землеробства / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні. — К.: Оранта, 2000. — С. 245–259.
451. *Шикула М. К.* Саморегуляція родючості чорнозему в умовах ґрунтозахисного землеробства / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Вісн. аграрн. науки. — 2001. — № 6. — С. 5–11.
452. *Шикула М. К.* Вплив ґрунтозахисної системи обробітку на агрохімічні властивості агрономічно цінної структури чорнозему типового Лівобережного Лісостепу України / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Вісн. Черк. інст. АПВ: темат. збірник. — 2002. — С. 13–21.
453. *Шикула М. К.* Ґрунтоутворювальна і ґрунтозахисна роль соломи та інших післязливних решток в агроценозах / М. К. Шикула, А. Д. Балаєв, О. В. Демиденко // Вісн. агр. науки. — 2003. — № 4. — С. 27–33.
454. *Шикула М. К.* Саморегуляція родючості чорнозему в умовах ґрунтозахисного обробітку / М. К. Шикула, О. В. Демиденко // Вісн. аграрної науки. — 2001. — № 6. — С. 5–11.
455. *Шилова Е. И.* Идеи П. С. Коссовича о почвенных растворах и динамической сущности почвообразования / Е. И. Шилова // Почвоведения. — № 6. — 1988. — С. 93–103.
456. *Шишов Л. Л.* Критерии и модели плодородия почв / Л. Л. Шишов, И. И. Карманов, Д. Н. Дурманов. — М.: ВО “Агропромиздат”, 1987. — 184 с.
457. *Шишов Л. Л.* Модели расширенного воспроизводства плодородия почв — новое в теории почвоведения / Л. Л. Шишов, Б. П. Градусов [и др.] // 100 лет генетического почвоведения. — М.: Наука, 1986. — С. 170–178.
458. *Шишов Л. Л.* Современные концепции управления плодородием почв / Л. Л. Шишов, Д. Н. Дурманов // Плодородие почв: проблемы, исследования, модели. — М., 1985.

459. *Щербак І. Е.* Земля, плоскоріз, урожай / І. Е. Щербак // Хлібороб України. — 1983. — № 10. — С. 14–15.
460. *Щербак І. Е.* Почвозащитная технология возделывания зерновых культур в южных районах Украины / И. Е. Щербак. — 1979. — 240 с.
461. *Щербак І. Е.* Результаты многолетнего опыта по применению плоскорезной обработки почвы / И. Е. Щербак // Повышение эффективности и устойчивости земледелия на Украине и в Молдавии; под ред. А. А.Собко. — К.: Урожай, 1981. — 280 с.
462. *Щербаков А. П.* Методологические аспекты эффективного плодородия почв / А. П. Щербаков, Е. Е. Кислых // Вестник с.-х. науки. — 1986. — № 11. — С. 39–45.
463. *Щербаков А. П.* О методологических основах теоретической агрохимии / А. П. Щербаков, Е. Е. Кислых // Вестник с.-х. науки. — 1987. — № 11. — С. 121–123.
464. *Щербаков А. П.* К становлению общей теории эффективного плодородия почв / А. П. Щербаков, Е. Е. Кислых // Вестник с.-х. науки. — 1989. — № 8. — С. 25–29.
465. *Щербаков А. П.* Новый подход к развитию фундаментальных исследований в земледелии / А. П. Щербаков, В. П. Володин // Земледелие. — 1989. — № 9. — С. 33–39.
466. *Щербаков А. П.* Концепция оценки и регулирования почвенного плодородия на биоэнергетической основе / А. П. Щербаков, В. М. Володин // Почвоведение. — 1990. — № 4. — С. 90–103.
467. *Щербаков А. П.* Эффективное плодородие почв: методологические аспекты / А. П. Щербаков, Е. Е. Кислых. — М.: Агропромиздат, 1990. — 72 с.
468. *Щербаков А. П.* Основные положения теории экологического земледелия / А. П. Щербаков, В. П. Володин // Вестник с.-х. науки. — 1991. — № 1. — С. 42–49.
469. *Юмагулов Г. А.* Кукуруза: индустриальная технология возделывания / Г. А. Юмагулов. — Алма-Ата: Кайнар, 1987. — 126 с.
470. *Юркевич М. Д.* О содержании кислорода в почвенном воздухе лесных болот / М. Д. Юркевич, Л. П. Смолак, Б. Э. Гарин // Почвоведение. — 1966. — № 2. — С. 41–50.
471. *Ярилова Е. А.* Микроморфология черноземов / Е. А. Ярилова // Черноземы СССР. — “Наука”, 1974. — Т. 1.
472. *Ярилова Е. А.* Основные черты микростроения черноземов и лугово-черноземных почв Курской и Орловской областей / Е. А. Ярилова // Тр. Курск. гос. опыт. с.-х. ст. — 1969. — Т. 3. — 150 с.
473. *Яковченко В. П.* К вопросу об оптимальном содержании гумуса / В. П. Яковченко // Почвоведение. — 1989. — № 9. — С. 117–121.
474. *Якунин А. А.* О минимализации обработки почвы при возделывании кукурузы / А. А. Якунин, А. М. Линский, А. И. Бубник. — Днепропетровск, 1983. — С. 51–58.
475. *Ястребов М. Т.* Газовый режим почвы в пойме р. Клязьмы / М. Т. Ястребов // Пойменные почвы Русской равнины. — М., 1963. — Вып. 2. — С. 102–123.
476. *Яншин А. А.* Глобальные последствия антропогенного воздействия на окружающую среду / А. А. Яншин // Вестник АН СССР. — 1989. — № 6. — С. 71–82.

477. *Bacumer K.* First experiences with direct drills in Germany, — Neth. — J. agric. Sci., 1970, V. 18, P. 263–292 under ploughing and direct drilling, including use of a radio active tracer (141Ce) technique // Soll Tille Reg. — 1980–1981, 1, p. 11–18.
478. *Douglas J.* Measurements of pore characteristic in a clay soil / J. Douglas.
479. *Dovdell R. I.* Oxygen concentrations in a clay soil after ploughing or direct drilling / R. I. Dovdell, K. Crees, I. R. Burford [e. a.]. — J. Soll Sci., 1979. — V. 30. — № 2. — P. 239–245.
480. *Ehlers W.* Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung im umbearbeiten und bearbeiteten Lossboden / W. Ehlers. — Z. — Pfl. Ernähr, Bodenk., 1973. — № 134. — P. 193–207.
481. *Finne L. R.* The effect of soil physical conditions produced by various cultivation system of the root development of winter wheat / L. R. Finne, B. A. Knight // J. agric. Sci., 1973. — № 80. — P. 435–42.
482. *Gullich P.* Arch. Acker — und Pflanzenbau und Bodenk / P. Gullich, D. Werntr. — 1984. — V. 28. — № 9. — P. 511–518.
483. *Smith K. A. Dowdell R. I.* Field studies of the soil atmosphere. I. Relationship between ethylene, oxygen, soil moisture content and temperature // J. Soil Sci. — 1974. — V. 25.
484. *Stevenson B. N.* Carbon dioxide and methane fluxes from the ombrotrophic part of a peat mire / B. N. Stevenson // Ecol. bull. — 1980. — № 30. — P. 235–250.
485. *Tromasson A. J.* Contribution of roots to the total CO₂ output from grassland soil / A. J. Tromasson, T. Glosser, K. Fiala // Stud. Abut Humus. Humus et Planta VII Trans. Symp. — Brno, 1979. — Ses. 1. — P. 472–477.
486. *Triplett G. B.* Effect of corn (*Zea mays* L.) stover mulch on no — tillage corn yield and water infiltration / G. B. Triplett, D. M. Van Doren, B. L. Schmidt // Agron. J. — 1968. — V. 60. — P. 236–239.
487. *Friedlingstein P.* Climate carbon cycle feedback analysis: Results from the C4MIP model intercomparison / P. Friedlingstein, P. Cox, R.A. Betts et al. // J. Climate. 2006. V. 19. № 22. P. 3337–3353.
488. *Canadell J. G., Pataki D. E., Gifford R.* et al. Saturation of the terrestrial carbon sink / Eds: Canadell J. G., Pataki D. E., Pitelka L. Terrestrial ecosystems in a changing world The IGBP Series. V. XXIV. — N.Y.: Springer Verlag, 2007. — P. 59–73.
489. *Cox P. M.* Modelling vegetation and the carbon cycle as interactive elements of the climate system / P. M. Cox, R.A. Betts, C.D. Jones et al.; Ed. R. Pearce / Meteorology at the millennium. — N.Y.: Academic Press, 2001. — P. 259–279.
490. *Denman K.* Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry / K.L. Denman, G. Brasseur, A. Chidthaisong et al.; Eds: S. Solomon, D. Qin, M. Manning et al. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. — Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. — P. 499–588.
491. *Kapshtyk M. V.* The ways to ecologically balanced development of agro ecosystems in the Forest-steppe zone of Ukraine / M. V. Kapshtyk, O. V. Demydenko // International Journal of Agricultural Research and Review: ISSN -2360-7971. — August, 2014. — V. 2 (8). — P. 92–98.
491. *Rosswall T.* The nitrogen cycle / T. Rosswall; Eds: B. Bolin, R.B. Cook // SCOPE 21: The major biogeochemical cycles and their interactions. — N.Y.: Wiley, 1983. — P. 46–50.
493. *Sabine C. L.* Current status and past trends of the global carbon cycle / C. L. Sabine,

- M. Heimann, P. Artaxo et al. / Field C.B., Raupach M.R. (Eds.) // SCOPE 62: The global carbon cycle. — London: Island Press, 2004. — P. 17–44.
494. Sokolov A.P. Consequences of considering carbon-nitrogen interactions on the feedbacks between climate and the terrestrial carbon cycle / A.P. Sokolov, D.W. Kicklighter, J.M. Melillo et al. // J. Clim. — 2008. — V. 21. — № 15. — P. 3776–3796.
495. Thornton P.E. Influence of carbon-nitrogen cycle coupling on landmodel response to CO₂ fertilization and climate variability / P.E. Thornton, J.F. Lamarque, N.A. Rosenbloom et al. // Global Biogeochem. — Cycles. — 2007. — V. 21. — GB4018. 76.
496. Thornton P.E. Carbonnitrogen interactions regulate climate — carbon cycle feedbacks: results from an atmosphereocean general circulation model / P.E. Thornton, S.C. Doney, K. Lindsay et al. // Biogeosciences. — 2009. — V. 6. — P. 2099–2120.
497. Vitousek P.M. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur / P.M. Vitousek, R.W. Howarth // Biogeochemistry. — 1991. — V. 13. — P. 87–115.
498. Zaehle S. Carbon-nitrogen interactions on land at global scales: current understanding in modelling climate biosphere feedbacks / S. Zaehle, D. Dalmonech // Curr. Opin. Environ. Sustain. — 2011. — V. 3. — P. 311–320.
499. Hakansson I. Machinery-induced compaction of arable soils. Incidence-consequences-counter measures. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences // Report of Soils Sciences Department, 109. — 2005. — P. 153.
500. Tijink F. G. J. van den Lynden. Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping system with sugar beet // Advances in Geoecology. — 2001. — V. 32. — P. 442–452.
501. During R.-A., Michels A. Conservation Agriculture. Organic Farming. GM in Germany. Main focus: Western Germany. Report D 1.1. A 5. KASSA Project. CIRAD. — France, 2006. — P. 45.
502. Lahmar R., Tourdonner S. de, Barz P., During R.-A. et al. Prospect for conservation agriculture in Northern and Eastern European countries, lessons of KASSA. Biblioteka Fragmenta Agronomica. 11/2006, Part 3. — Pulawy — Warszawa. — P. 77–88.
503. Montanarella L. European Soil Protection Strategies. International Soil Tillage Research Organisation 17-th Triennial conference. — Kiev. — Germany, 2006. — P. 1586–1597.
504. Montanarella L., Nestroy O., Medvedev V.V. et al. Soil Atlas of Europe. European Soil Bureau Network European Commission. — Rome, 2005. — P. 128.
505. Proposal for an European soil monitoring and assessment framework. Technical report. 61. European Environment Agency, 2001. — P. 61.
506. Vandeputte E. Changes in the agricultural practices by giving up ploughing. Report D 1.1. A 2. KASSA Project. CIRAD. — France, 2006. — P. 11.
507. Benites J.R., Derpsch R., McGarry D. The current status and future growth potential of conservation agriculture in the World context. Int. Soil Res. Organ. Conference. Brisbane. — Australia, 2003. — P. 118–129.
508. Reports of Latin America, Asian, Mediterranean and European Platforms. Knowledge Assessment and Sharing on Sustainable agriculture (KASSA Project). — 2005. — P. 55.
509. Barz P., Edwards T., Campbell T., Hood D.W. Alternative agricultural systems in the United Kingdom. Report D 1.1 A8. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–95.

510. *During R.-A., Michels A.* Conservation Agriculture, Organic Farming and GM crops in Germany. Main focus: Western Germany. Report D 1.1 A 5. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–45.
511. *Frielinghaus M., Muller L., Willms M., Andreas U.* Conservation Agriculture, Organic Farming and GM crops in Germany. Main focus: Eastern Germany. Report D 1.1 A 6. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–16.
512. *Thinggaard K.* Organic seed, conservation agriculture and GM crops in Denmark. Report D 1.1 A 4. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–16.
513. *Magid J., Nielsen N.-E.* Organic farming in Denmark. Report D 1.1 A 3. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–27.
514. *Kubat J., Novakova J., Simon T., Lipavsky J., Vach M., Javurek M., Hula J.* Conservation agriculture, Organic Farming and GM crops in Czech Republic. Report D 1.1 A 10. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–20.
515. *Tourdonnet S. de, Noziures A.* Conservation agriculture, organic farming and GM crops in France. Report D 1.1 A 1. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–36.
516. *Arrue J.L., Cardarelli A., Kavvadias V.* et al. Sharing Knowledge on Sustainable agriculture. The Mediterranean Platform, виголошений у Брюсселі 21/02/2006.
517. *Netland J., Waalen W.* Conservation agriculture in Norway. KASSA Project. — CIRAD, France, 2006. — P. 1–28.
518. *Scharatt B. C.* et al. Amelioration of soil compaction by freeseing and thawing // Proc. Of int. Sym., Fairlaks. — Hanover, 1997. — №97 — 10. — P. 182–188.
520. *Hakansson I.* Machinery-induced compaction of arable soils. Incidence-consequences-counter measures. Uppsala. Swedish University of Agricultural Sciences // Report of Soils Sciences Department, 109. — 2005. — P. 153.
521. *Tijink F.G.J. van den Lynden.* Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping system with sugar beet // Advances in Geocology. — 2001. — V. 32. — P. 442–452.
522. *Godwin R.J., Earl R., Taylor C., Wood G.A.* et all. Precision farming of cereals. Practical guidelines and crop rotation // Project Report 267, Home-Grown Cereals Authority. — London, 2002. — P. 8.
523. *Cropping Systems in Intensive Agriculture.* Ed. By D. Djumalieva and A. Vassilev // New Delhi, 1993. — 211 p.
524. *The Overstory Book: Cultivating Connections with Trees.* 2nd edition. Ed. by C.R. Elevitch // Published by PAR, USA. — 2004. — 526 p.
525. *Полупан М.І.* Номенклатура та діагностика еколого-генетичного статусу ґрунтів України для великомасштабного їхнього дослідження / М.І. Полупан, В.А. Величко; за ред. М.І. Полупана. — К.: Аграрна наука, 2014. — 496 с.
526. *Полупан М.І.* Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України / [М.І. Полупан, В.В. Соловей, В.І. Кисіль та ін.]. — К.: Колобіг, 2005. — 303 с.
527. *Величко В.А.* Екологія родючості ґрунтів. — К.: Аграрна наука, 2010. — 274 с.
528. *Полупан М.І.* Продуктивна здатність ґрунтів Лісостепу за природною і ефективною родючістю / [М.І. Полупан, В.А. Величко, В.В. Соловей та ін.] // Вісник аграрної науки. — 2011. — № 7. — С. 15–23.
529. *Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Лісостепу України.* — К.: Аграрна наука, 2010. — 980 с.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

БУЛИГІН Сергій Юрійович
ВЕЛИЧКО Володимир Андрійович
ДЕМИДЕНКО Олександр Васильович

АГРОГЕНЕЗ ЧОРНОЗЕМУ

Комп'ютерна верстка *О.С. Шайнікова*
Художнє оформлення *І.Г. Хорошого*

Здано до набору 03.05.2016. Підписано до друку 11.08.2016. Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк офсетний. Обл.-вид. арк. 19,8. Ум. друк. арк. 20,7.
Тираж 100 прим. Зам.

Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
Свідоцтво про державну реєстрацію № 371868 від 13.12.2010 р.
вул. Васильківська, 37. 03022, Київ. Тел. (044)257-85-27. E-mail: agrarnanauka@yandex.ru

Видання надруковано у друкарні ТОВ «Задруга»
вул. Фрунзе, 86, Київ, 04080. Тел. (044) 239-19-77. E-mail: 2010zadruga@gmail.com