



Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.452. 631.51.
631.582

© 2022

ПАРАМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ СТАЛОЇ РОДЮЧОСТІ СІРОГО ЛІСОВОГО ЛЕГКОСУГЛИНКОВОГО ҐРУНТУ

М.В. Коломієць

*кандидат сільськогосподарських наук
ННЦ «Інститут землеробства НААН»*

вул. Машинобудівників, 2 б, смт Чабани Фастівського р-ну Київської обл., 08162, Україна

e-mail: obrobitok@ukr.net

ORCID: 0000-0003-3396-5055

Надійшла 7.07.2020

Мета. Обґрунтувати інтегральну фактографічну модель сталої потенційної та ефективної родючості сірого лісового крупнопиловато-легкосуглинкового ґрунту (СЛКЛГ) у типових для північної частини Лісостепу зернопросапних і зернових сівозмінах. **Методи.** Узагальнення та аналізу-синтезу – для обґрунтування кількісно-якісних оптимумів складників родючості ґрунту; польовий – з’ясування взаємодії природних та агрогенних факторів у реалізації біопотенціалу дослідного едатопу; лабораторний – для комплексного агрохімічного та мікробіологічного аналізу ґрунту; розрахунково-порівняльний – для техніко-економічної та енергетичної експертизи експериментальних агротехнологій. **Результати.** Глобалізація проблеми родючості ґрунтів зумовлена катастрофічним спустошенням ріллі (6 млн га/рік). Україна через деградацію ґрунтового покриву щороку втрачає до 20% ВВП. Сприйняття категорії «родючість» біосферним феноменом масштабної рециркуляції речовин та енергії нівелює суперечності її тлумачення і валідації фахівцями. Узагальнення багаторічних напрацювань автора і конструктивних рішень сучасної агрономії уможливило встановлення цифрових оптимумів показників-індикаторів родючості ґрунту та їх ранжування у функціональні блоки. Квінтесенцією тривалих стаціонарних польових і вербальних досліджень (1969–2020 рр.) є актуалізація розгорнутої 15-блокової інформаційно-прогностичної моделі родючості сірого лісового легкосуглинкового ґрунту з максимумом продуктивності 7-пільної зернопросапної сівозміни в IV ротації (1997–2004) 10,5 т/га з. од. (вихідний рівень 5 т/га з. од.). Після впровадження (2005–2020 рр.) 4–5-пільних зернових сівозмін верхня межа ефективної родючості знизилася до 5,8 т/га з. од., проте завжди переважали (4,3–16,9%) агротехнології на основі різноглибинного (10–45 см) полицево-безполицевого основного обробітку (1+3–5), зокрема глибокого чизельного під просапні культури та органо-мінеральної системи удобрення. **Висновки.** Перманентне комплексне окультурення ґрунту та раціоналі-

зація ключових ланок відновлюваного землеробства (сівозміни, адаптивний полицево-безполицевий обробіток, збалансоване органо-мінеральне удобрення, інтегрований захист рослин, сортозаміна тощо) забезпечили середньозважену за 51 дослід-рік біопродуктивність 7,6 т/га з. од. з трендовою перевагою (2,8 – 5,9%) над монотипно-полярними агротехнологіями (щорічна оранка, плоскорізний і дисковий обробітки). Оптимізація частини показників фізичного, агрохімічного, фітосанітарного, технологічного та управлінського блоків сприяла успішній верифікації моделі родючості дослідного екотопу і мотивує подальшу її імплементацію та якісне вдосконалення.

Ключові слова: стаціонарний дослід, оптимальні параметри, обробіток, удобрення, продуктивність сівозміни.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202201-01>

Із 3,3 млрд га орнопридатних ґрунтів світу частка малопродуктивних становить 58,7%, помірно продуктивних — 27,1, високопродуктивних — лише 14,2, або 3% загальної площі суходолу. Нині антропогенно порушеними є понад 2 млрд га земель. Повністю зруйновано 1%, перебуває в критичному стані — 15, кризовому — 46 і лише 38% площі педосфери мають незначні ознаки деструкції. Прогресуючу деградацію ґрунтового покриву оцінено як глобальну загрозу (екологічну, продовольчу, енергетичну) через втрату його біогеоценотичних функцій. Орний фонд Землі (1,5 млрд га) невпинно скорочується: 6 млн га/рік за останнє півстоліття, тоді як за попередні 1000 років цивілізації — 0,2 млн га/рік. Тобто швидкість спустошення ріллі зростає в 30 разів і до 2040 р. перетне фізіологічну межу (0,1 га/людина) виживання [1, 2].

В Україні морфологічно й функціонально ідентифіковано 16 типів деструктивних едафічних явищ фізичного, фізико-хімічного, хімічного та біологічного походження. Найбільша небезпека криється у фізичній деградації: водна ерозія — 10,6 млн га, вітрова — 6, сезонні пилові бурі — до 20, переущільнення ґрунту — понад 24 млн га. Через це щороку недобирається 16–66% урожаю польових культур, або до 20% ВВП [3, 4]. Низхідний тренд (близько 1% за рік) потенційної родючості ґрунтів зумовлює подорожчання агротехнологій для порівняльної реалізації її ефективної компоненти [5].

Парадигма розв'язання одвічної проблеми землеробства зводиться до імплементації

різномірних «моделей родючості» як цілісного тезаурусу оптимальних параметрів властивостей режимів, ознак, умов тощо, адекватних заданій продуктивності агроценозів і саморегуляції ґрунтів [6]. В ідеалі це будуть цифрові алгоритми програмування гомеостатичного функціонування агроєкосистем [7], а поки що — структурована інформаційно-фактографічна база даних для ефективного врівноваженого використання та управління локальними екотопами. Скажімо, автоматизований Банк моделей родючості «ПЛМОД» працює в Інституті ґрунтознавства імені В.В. Докучаєва (РФ) з 1990 р. і налічує понад 2600 моделей оцінювання, стандартизації, прогнозування й управління якістю ґрунтів [<http://www.esoil.ru/databases/bank.html>].

На жаль, деталізована параметризація високої родючості орних ґрунтів в Україні малопоширена. Навіть у предметних монографіях [8–10] тест-ознаки функціональності едафопів подані узагальнено фрагментарно з акцентом на агроєкологічні «еталони» цілинних аналогів. Однак ґрунтогенез останніх відбувався впродовж тисячоліть за унікальних природно-кліматичних умов, тому апіорі не може бути взірцевим для валідації ефективності сучасних альтернативних континуумів — промислових агроєкосистем. Занадто орієнтовними є також синтетичні діапазони оптимумів здебільшого 13-ти показників родючості зональних відмін ґрунтів різної гранулометрії, представлених у ДСТУ 4362:2004 з огляду на територіальні прогалини (мозаїчність) вибірки

експериментальних даних та їхню регіональну строкатість [11].

Мета досліджень — обґрунтувати інтегральну фактографічну модель сталої потенційної та ефективної родючості сірого лісового крупнопилувато-легкосуглинкового ґрунту (СЛКЛГ) у типових для північної частини Лісостепу зернопросапних і зернових сівозмінах.

Матеріали та методи досліджень. Публікація є аналітичним підсумком 50-річних стаціонарних польових досліджень (1969–2020) проблеми раціоналізації зональної системи ґрунтообробітку, проведених у ННЦ «Інститут землеробства НААН». Концептуально цикл науково-дослідних проєктів (НДП) пройшов 6 висхідних етапів (реконструкцій стаціонару) «Розробити адаптивні системи обробітку сірого лісового ґрунту за комплексного використання агрохімікатів і побічної продукції рослинництва на добриво». Атестат № 03 у реєстрі атестатів «Стаціонарні польові дослідження України» (Київ: Аграрна наука, 2014) і супроводжувався серією тимчасових і модельних дослідів із релевантним теоретичним обґрунтуванням, ресурсним, технологічним забезпеченням і соціально-економічними запитами [12].

Задіяні фактори інтенсифікації (обробіток, добрива, сівозмінна, сорти і гібриди, пестициди) спрямовували на зростання фітопродуктивності агроценозів завдяки комплексному окультуренню СЛКЛГ з генетично невисокою природною родючістю орного шару: уміст гумусу — 1,1–1,2%; $r_{H_{KCl}}$ — 4,6; Нг — 2,9; S — 94 мг-екв./кг; V — 78%; азот легкогідролізований — 54; P_2O_5 — 70–76; K_2O — 55–62 мг/кг ґрунту; рівноважна щільність — 1,4–1,6 г/см³; уміст фізичної глини — 23%; крупного пилу — 56,8; вологість фізичної стиглості — 14, найменша вологоємність (НВ) — 21; діапазон активної вологи (ДАВ) — 17,3%. Річна сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) — 1950–2100 Мдж/м², ефективних температур >10°C — 2500°C, опадів — 430–670 мм; гідротермічний коефіцієнт (ГТК) — 0,9–1,3; біокліматичний потенціал (БКП) — 2,22 (100,8 бала).

Морфологічна будова ґрунтового профілю: HE — 0–32 см, сірий, грудкувато-

пилуватий, ущільнений; I_1h — 33–58 см, світло-бурий, щільний, горіхувато-грудкуватий, локально присипаний SiO_2 ; I_2 — 58–106 см, бурий, щільний, горіхувато-призматичний із рясною присипкою SiO_2 ; P_i — 107–134 см, бурувато-жовтий, грудкувато-призматичний, донизу палевий лесовидний суглинок, бурхливо закипає із глибини 130 см.

У структурі земельного фонду країни ясносірі та сірі лісові ґрунти займають 2,6 млн га із середнім бонітетом 41–48 балів [3]. Розширене і просте відтворення та збереження їхньої родючості можливе за умови нівелювання дрібноконтурності, строкатості покриву, недостатньої гумусованості, умісту азоту, вологоємності, а також підвищеної кислотності, схильності до ущільнення, ерозій і високої потенційної засміченості насінням бур'янів.

Кількісно-якісні оптимуми елементів родючості СЛКЛГ визначено системним синтезом — аналізом багаторічних експериментальних даних за алгоритмом «параметр ↔ родючість ↔ екологічність ↔ біопродуктивність ↔ сумарна ефективність», доповнених інтерпретованими педохарактеристиками, описаними В.В. Медведєвим [3], Т.Н. Кулаковською [13], Г.І. Казаковим [14] та ін. Звісно, що розроблена полікомпонентна інформаційна науково-виробнича модель сталої родючості окремого педона не є довершеною, зважаючи на фрактальність ефектів біотичних, абіотичних і ресурсно-технологічних складників дослідних агросистем, неповне їх унормування та повільний інноваційний поступ вітчизняного агросектору, особливо щодо сучасного матеріально-технічного та інструментального забезпечення експрес-діагностики тестових показників.

Результати досліджень. Родючість як природний феномен у забезпеченні культурних рослин природними факторами життя є водночас і соціально-економічною категорією. Її функціональна модель асимілює агрономічно значущі топографічні, морфологічні, агрофізичні, агрохімічні, біологічні, фітосанітарні, екологічні та екосистемні показники, нормативи і регламенти, які в процесі багатовекторної взаємодії з поточними метеоумовами визначають перебіг усіх еле-

ментарних ґрунтових процесів і, зрештою, — продуктивність агрофітоценозів.

Аналітичне узагальнення переконаливо свідчить про те, що дефініція «родючість ґрунту» нині має кілька визначень. Ретроспективно цей термін тлумачиться як комплекс ґрунтових властивостей для формування врожаю сільськогосподарських культур [15]; можливість забезпечувати потребу рослин в едафічних факторах життя [16]; здатність матеріалізувати потреби рослин в елементах живлення, воді, повітрі, теплі і фізико-хімічному середовищі для нормального розвитку [17]; сукупність властивостей у безперервному забезпеченні рослин вологою, повітрям і поживними речовинами для формування врожаю сільськогосподарських культур [18]; спроможність задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, повітрі та теплі в достатній кількості для їх нормального розвитку, яка є основним показником якості ґрунту [13]; здатність забезпечувати рослини необхідними умовами росту і розвитку впродовж вегетації: елементи живлення, вода, хімічний, мінералогічний, гранулометричний склад, уміст гумусу, водно-фізичні, фізико-хімічні та біологічні властивості, культура землеробства, матеріальні вкладення тощо [11].

В авторській версії родючість — це кількісно-якісний потенціал ґрунту через фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні властивості та ресурсо-управлінське наповнення субстантивно і функціонально самовідновлюватися, бути середовищем існування, джерелом і посередником забезпечення рослин необхідними чинниками життєздатності. Упродовж десятиліть найбільш точним, змістовним і водночас креативним залишається висновок-формула [18]: категорія «родючість» віддзеркалює напрями і масштаб обміну речовин та енергії у системі ґрунт — людина — рослина — агротехнології.

Ретроспективно зарубіжний досвід кількісно-якісної оцінки родючості едатоїв висвітлено в рейтингових англомовних джерелах [19, 20].

Для пом'якшення нагальних екологічних і соціально-економічних ризиків у червні 2008 р. Міжнародний інститут системного

аналізу (IIASA) та ФАО за участю Міжнародного інформаційно-довідкового центру ґрунтів (ISRIC), Об'єднаної дослідної мережі ЄС (JRC) та Інституту ґрунтознавства Китайської академії наук (ISSCAS) створили гармонізовану всесвітню on line базу даних про ґрунти (HWSD v 1,21, оновлення 2013 р.) у режимі геоінформаційної системи (ГІС). Тут представлено понад 15000 ґрунтових профілів, 46000 оцінних мап для корекції агроекологічного зонування, продуктивності земель, моделювання викидів парникових газів і трансформації довкілля. Операційний простір становить 21600 рядків, 43200 колонок, 222 млн варіантів комірок із 22-ма показниками едафічних властивостей, що охоплюють близько 60% площі суходолу станом на вересень 2020 р. за роздільної здатності 3–30 кутових секунд. Тобто є можливість оперативного моніторингу фактичного і прогнозованого ґрунтогенезу згідно із запитом користувача [<https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/water/HWSD.html>].

З огляду на важливість і перманентну полеміку навколо проблеми подаємо локально апробовану версію інтегральної прогностичної моделі сталої родючості СЛКЛГ з фактичною продуктивністю дослідних сівозмін 4,8–10,5 т/га з. од. Матеріал згруповано в 13 функціонально-експертних блоків за спрощеною текстово-цифровою схемою: показник — оптимальний параметр родючості (сумарно до 130-ти показників).

1. Екосистемні складові ґрунтової родючості: ФАР (0,38–0,71) 100 вт/м² для тіневитривалих видів рослин і 210 — 280 вт/м² — для світлофілів; ККД ФАР — до 3%; енергія сонячної інсоляції для акумулятивного ґрунтоутворення — 19–25 ккал/см²; умовна екологічна стійкість території: освоєнність не >60%, розораність — 50%; 50 гол. великої рогатої худоби на 100 га; 160–180 кг/га NPK; 1–3 кг/га пестицидів; коефіцієнт екологічної стабільності ландшафту >0,66 [21]; сумарне агрогенне навантаження — до 12 ГДж/га; технологічне навантаження мобільними МТА — до 110 т-км/га рік [3]; коефіцієнти енергоресурсу: природного — 0,253, агротехнологічного — 0,796, технологічно-меліоративного — 0,82 [22]. Допустима

епізодична втрата біопотенціалу агросистеми — до 30% від середнього рівня [23].

2. Агrometeorологічні показники: середня річна кількість опадів — 590–620 мм, зокрема за квітень–жовтень — 430 мм; засвоєння опадів — до 75%; сума температур $>5^{\circ}\text{C}$ — 2600 $^{\circ}\text{C}$; $>10^{\circ}\text{C}$ — 2010 $^{\circ}\text{C}$; ГТК — 1–1,3.

3. Технолого-топографічні критерії: контурність, розмір поля здебільшого правильної геометричної форми площею понад 25 га і ухилом до 3° ; еродованість відсутня або слабка (допустимий змив — 0,8–1,2 т/га рік).

4. Морфологічні ознаки профілю ґрунту: темно-сірий оструктурений рівномірно гумусований шар потужністю 35–45 см; з адаптивним механічним обробітком — 0–45 см; кореневмісний — 0–100 см без ознак переущільнення.

5. Органічна речовина: вміст загального гумусу — 1,8–2,2%, зокрема лабільного — 3700 мг/кг; запаси гумусу — 80–100 т/га; співвідношення С_{гк}:С_{фк} (органічний вуглець гумінових : органічний вуглець фульвокислот) — 1:1,2; коефіцієнт профільного накопичення гумусу — 0,035; ступінь гуміфікації органічної речовини — 55–60%; агрогенний вплив за співвідношенням: власне гумусні речовини/детрит — 1,5–1,8; забезпечення позитивного балансу гумусу — внесення щороку 6–7 т/га сухої післязбиральної фітомаси, або 10 т/га гною разом з екологічнобезпечною дозою NPK (пункт 1).

6. Гідрологія ґрунту: водопроникність — >60 мм/год; НВ — 23%; ДАВ — 18,5%; запаси вологи в діапазоні 0,6–1,0 НВ у шарі 0–30 см — 49–75 мм; у шарі 0–100 см — 180–290 мм, зокрема доступної — 170–220 мм; коефіцієнт використання опадів — $>0,7$; кількість днів з оптимальним зволоженням — 120–140; вміст водотривких агрегатів 0,5–7 мм — 25–35%; оптимальна вологість зони аерації — 15–23% від маси, вологість фізичної стиглості — 14–15%; вологість мінімального тягового зусилля — 16–18%.

7. Агрофізика орного шару: об'єм твердої фази — 42–46%, рідинної — 29–31, газової — 23–25%; щільність складення — 1,25–1,45 г/см³; твердість — 80–250 кПа; загальна шпаруватість — 48–54%; повітроємність — 18–25%; вміст фізичної глини — 21–25%; переважний діаметр структурних

агрегатів — 1–7 мм; вміст водостійких агрегатів $>0,25$ мм — 20–30%; коефіцієнт структурності — 1,9–2,4; ступінь кришення за передпосівного обробітку — $>85\%$.

8. Фізико-хімічні властивості — реакція ґрунтового розчину: рН_{вод} — 6,3–6,7; рН_{ккл} 5,8–6,0; Нг — 1,6:1,8 мг·екв./100 г, ступінь насичення основами (V) — 88–90%. Співвідношення $\text{Ca}^{2+}:\text{K}^{+}=16-18$. Окисно-відновний потенціал — 300–400 мВ.

9. Агрохімічні властивості: вміст у ґрунті, мг/кг: азоту гідролізованого — 90–100, у т.ч. доступного — 40–50; засвоєння N із ґрунту — 55–65 кг/га; P₂O₅ (за Кірсановим) — 200–250, у т.ч. використання з ґрунту — 60–75 кг/га; K₂O (за Кірсановим) — 150–200, у т.ч. використання з ґрунту — 150–170 кг/га; глибина загортання, см: мінеральних добрив — 6–8; органічних — 10–12; вміст мікроелементів, мг/кг: Mg — 10–12; Zn — 6–7; Cu — 3–4; Mn — 20–25; B — 0,5–0,7; Co — 0,8–1,2; Mo — 0,2–0,4; екобезпечна інтенсивність балансу: гумусу — 110–120%; N — 105–110%; P₂O₅ — 140–180%; K₂O — 90–100%.

10. Біологічні властивості: загальна біомаса мікроорганізмів — 170–200 кг/га, чисельність бактерій — 5–7 млрд/кг; довжина гіфа міцелію — 300–500 м/г; суха маса мікроміцетів — 1200–1500 кг/га; кількість амоніфікаторів на м'ясопептонному агарі (МПА) — 19–21 млн/г, чисельність бактерій на середовищі Ешбі-Чапека (КУО — колонієутворювальних одиниць) — 22–25 млн/г; ферментативна активність: каталаза — 3–4 см³ O₂/г·хв; дегідрогеназа — 15–30 мг трифенілформазан (ТФФ) на 10 г ґрунту/добу; інвертаза — 50–150 мг глюкози/г·добу; уреаза — 20–30 мг NH₃ на 10 г ґрунту/добу; фосфатаза — 5–15 мг P₂O₅ на 10 г ґрунту/год; індекс педотрофності — 1,95; оліготрофності — 0,89; коефіцієнт мінералізації — мобілізації — 1,22; показник екологічності ґрунтового мікробіоценозу — 0,25–0,82, фітотоксичність — до 12% [24].

11. Фітосанітарний стан ґрунту: економічні пороги шкідливості — потенційна забур'яненість — менше 300 млн шт./га життєздатного насіння; рясність вегетуючих бур'янів: малорічних — до 30 шт./м²; багаторічних — 1–3 шт./м²; кількість шкідників — 5–20 шт./м²;

розвиток хвороб рослин — до 10%; поширення хвороб $\leq 20\%$.

12. Санітарно-гігієнічний стан ґрунту: уміст валових форм важких металів — 1–2 кларки ($\leq 0,5$ ГДК); щільність радіоактивного забруднення, кі/км^2 — $^{137}\text{Cs} \leq 0,2$; $^{90}\text{Sr} \leq 0,02$; залишкова кількість пестицидів — менше 0,5 ГДК; чисельність патогенів при забрудненні стоками — 10–102 шт./кг; уміст бітумізованих речовин при забрудненні нафтопродуктами — менше 1%.

13. Агроекологічні імперативи: помірно виражена гомогенно-гетерогенна диференціація орного шару з локалізацією елементів родючості у верхній його частині; ГДК концентрації рухомих форм ВМ, мг/кг: Zn — 23; Cd — 0,7; Ni — 4; Co — 5; Mn — 50; Pb — 2; Cu — 3; Cr — 6; превалювання гумусоутворення над мінералізацією; протиерозійна стійкість — уміст у поверхневому шарі $\geq 50\%$ агрегатів $d \geq 1$ мм; наявність 200 шт./ м^2 стернинок (0,4–0,5 кг/м^2), або 15–40 стебел (0,8–1,2 кг/м^2); допустиме техногенне навантаження рівне сумарній величині опору зв'язності, зсуву і розриву агрегатів — 32–98 кПа; допустимий тиск рушіїв МТА: сівба — 30–40 кПа; передпосівний обробіток — 50–60; зяблевий обробіток — 100–180 кПа.

Географічна прив'язка моделі родючості досліджуваного ґрунту — $50^\circ 26' 13''$ п.ш. $30^\circ 30' 21''$ с.д.

Крім зазначених вище угруповань показників функціонально-експертних блоків, цілісне програмування, реалізація та контролювання їхньої педофункціональності можливі лише за 2-х додаткових блоків: ресурсно-технологічного та ієрархічно ключового моніторингово-управлінського. Останні (нібито дотичні) насправді є генеруючими і відповідальними в сенсі конструктивного розв'язання проблеми стабілізації та контролювання ґрунтової родючості.

Кількісна експертиза типових діагностичних ознак родючості дослідного едатопу (різниця між фактичними та оптимальними параметрами унормована до 100) свідчить про те, що вони охоплюють діапазон 40–83 балів, а узагальнений її показник як середнє гармонічне сукупності окремих бонітетів критеріальних показників у межах окремих блоків становить 46–71 бал. Тобто є стійка

тенденція наближення до заданого рівня родючості. Це надзвичайно кропіткий, витратний, а іноді реверсний за кінцевими ефектами процес з огляду на розмаїтість малопізнаних факторіальних взаємодій. Однак дієвість комплексного еволюційного окультурення СЛКЛГ у повноцінній реалізації ефективної його родючості на прикладі 4-х альтернативних варіантів агротехнологій цілком очевидна (таблиця).

Звертаємо увагу на істотне зростання вихідної продуктивності зернопросапних сівозмін (5,05–5,18 т/га з.од.), особливо за підсумками 3- і 4-го етапів досліджень, коли вона майже подвоїлася (9,63–10,46 т/га з.од.). При цьому зменшення середньорічного приросту ефективної родючості ґрунту в досліді з 56,3 до 2,1% за 2- і 4-й періоди досліджень свідчить про «вичерпність» апробованих чинників оптимізації агросистеми та нагальність інноваційних підходів (розширення бази оптимізації) для подальшого підвищення продуктивності агроценозів і поліпшення якості ґрунту.

Найконструктивнішою щодо енергозбереження, екологічності, відтворення елементів потенційної і реалізації ефективної родючості СЛКЛГ (10,46 т/га з.од.) виявилася адаптивна система землеробства з чітко диференційованими способами (полицево-безполицевий, 1+5, зокрема з чизелюванням під просапні), глибиною (10–45 см), знаряддями та періодичністю застосування технології механічного обробітку за сучасного ресурсного забезпечення решти її складових [12]. У найбільш сприятливих еколого-виробничих умовах 1999–2000 сільськогосподарського року (верхня межа оптимуму багатьох тест-показників) базовий варіант забезпечив максимальну за історію досліді фітопродуктивність — 13,3 т/га з.од.

Прикінцева його перевага (1997–2004 рр.) над рештою агротехнологічних систем із полярними обробітками становила 4,3–8,6%. Показовим був також факт поротаційного збільшення вирівняності (100 — V, %) урожайності дослідних агроценозів: 1-ша — 78%, 2-га — 82, 3-тя — 83,8, 4-та — 84,6%.

Перехід у 2005–2013 рр. на 5-пільну зернову сівозміну з 40%-м насиченням

Динаміка продуктивності зернопросапних і зернових сівозмін за різних систем обробітку та удобрення сірого лісового ґрунту (1970–2020 рр.)

Система обробітку ґрунту	Продуктивність за етапом, т/га з. од.							Приріст, %
	1	2	3	4	5	6	Середньо- зважена	
Різноглибинна адаптивна, 10–45 см (еталон)	5,05	8,12	9,99	10,46	4,82	5,80	7,60	0
Різноглибинна полицева, 10–30 см (контроль)	5,18	7,94	9,82	10,02	4,47	5,40	7,39	2,8
Різноглибинна плоскорізна, 10–30 см	–	8,03	9,66	9,80	4,30	5,09	7,22	5,1
Щорічне дискування, 10–12 см	5,02	7,98	9,60	9,63	4,13	4,96	7,18	5,9
Середній рівень по досліді	5,08	8,02	9,77	9,98	4,30	5,31	7,35	3,4

Примітка. Характеристика етапів досліджень (період, сівозміна, удобрення): 1 — 1970–1979 рр., конюшина — пшениця озима — буряк цукровий — горох — пшениця озима — кукурудза на зерно — ячмінь із підсівом конюшини; гній 7 т/га + N₄₅P₄₉K₄₉; 2 — 1981–1988 рр., конюшина — пшениця озима — буряк цукровий і кормовий — кукурудза на силос — пшениця озима — кукурудза на зерно — ячмінь із підсівом конюшини; гній 10 т/га + N₈₃P₈₀K₉₉; 3 — 1989–1996 рр. і 4 — 1997–2004 рр., сівозміни аналогічні етапу 2; система удобрення: гній 10 т/га + N₈₉P₇₇K₁₀₇ і 6–7 т/га побічної фітомаси + N₇₅P₆₀K₈₈ відповідно; 5 — 2005–2013 рр., горох — пшениця озима — кукурудза на зерно — соя — ячмінь ярий; побічна фітомаса + N₈₈P₅₅K₆₂; 6 — 2014–2020 рр., соя — пшениця озима — кукурудза на зерно — ячмінь ярий; побічна фітомаса + N₇₀P₅₈K₈₈.

горохом і соєю [25] зумовив тимчасове пригнічення дослідної агроєкосистеми. Однак надалі (2014–2020 рр.) функціональність біогеоценозу повністю відновилася, оскільки віддача короткоротаційної 4-пільної сівозміни (соя — пшениця озима — кукурудза на зерно — ячмінь ярий) зростає до 5,3–5,8 т/га з. од., або в середньому на 23,5%.

За весь 51-річний період керованої агротехнологічної оптимізації системи відновлюваного землеробства (сівозміна, адаптивний полицево-безполицевий обробіток, 1+3–5; органо-мінеральне удобрення, інте-

грований захист рослин, сортозаміна та ін.) середньозважена продуктивність «еталонного» та дослідного едапотів становить 7,6 т з. од. рік. Це на 2,8; 5,1; 5,9% більше, ніж за альтернативних технологій на основі щорічної оранки, плоскорізного та дискового розпушувань.

Отже, врегулювання частини показників фізичного, агрохімічного, фітосанітарного, технологічного та управлінського блоків переконує в дієздатності запропонованої моделі родючості сірого лісового ґрунту і мотивує подальше її застосування та якісне вдосконалення.

Висновки

Відзначено теоретико-прикладну значущість і критично переосмислено сутність категорії «родючість ґрунту» в напрямі керованої функціональності через оптимізацію, комплементарність взаємодії природних і агрогенних факторів згідно з імперативами сучасного природоохоронного землеробства (екологічність, ресурсоощадність, конкурентоспроможність тощо).

За результатами комплексних 50-річних досліджень (1970–2020) та узагальнення креативних тематичних розробок обґрунтовано 15-блокову інтегральну модель сталої родючості сірого лісового легкосуглинкового ґрунту з фактичною продуктивністю 4–7-пільних сівозмін різної спеціалізації 5,8–10,5 т/га з.од.

Цілеспрямоване окультурення едапоту забезпечило подвоєння вихідного

біопотенціалу ріллі (5–5,2 т/га з.од.) у 4-й ротації 7-пільної зернопросапної сівозміни (1997–2004 рр.) за істотної переваги (4,3–8,6%) агротехнологій на основі різноглибинного (10–45 см) адаптивного полицево-безполицевого обробітку (1+5), зокрема глибокого чизелювання під просяпні культури.

Із запровадженням короткоротаційних зернових сівозмін (2005–2020 рр.) ефект від поліпшення агрозаходів змінювався в межах 7,4–16%.

Kolomiets M.

NSC «Institute of Agriculture of NAAS», 2b, Machynobudivnykiv Str., vil. Chabany, Fastiv district, Kyiv oblast, 08162, Ukraine; e-mail: obrobitok@ukr.net; ORCID: 0000-0003-3396-5055

A parametric model of sustainable fertility of gray forest sandy loam soil

Goal. To substantiate the integrated factual model of sustainable potential and effective fertility of gray forest coarse-grained sandy loam soil in grain-rotation crop rotations typical for the Northern part of the Forest-Steppe. **Methods.** Generalization, analysis, and synthesis, analog, field, laboratory, statistical, computational. **Results.** The globalization of the problem of soil fertility is due to the catastrophic devastation of arable land (6 million ha/ year). Ukraine loses up to 20% of GDP every year due to soil degradation. Perception of the category «fertility» as a biosphere phenomenon of large-scale recirculation of substances and energy eliminates the contradictions of its interpretation and validation by specialists. The generalization of long-term developments of the author and constructive decisions of modern agronomy made it

Завдяки тривалій керованій раціоналізації ключових ланок відновлюваного землеробства (сівозміна, адаптивний полицево-безполицевий обробіток, 1+3–5; збалансоване органо-мінеральне удобрення, інтегрований захист рослин, сортозіміна та ін.) середньозважена за 50 дослід-років фітопродуктивність (ефективна родючість) становить 7,6 т/га з. од. рік. Це на 2,8–5,9% перевищує рівень полярних за інтенсивністю обробітків агротехнологій.

possible to establish digital optimums of soil fertility indicators and their ranking into functional blocks. The quintessence of long-term stationary field and verbal researches is the actualization of the developed 15-blocks information-prognostic model of the fertility of gray forest sand loamy soil with average productivity of 7-fields grain-rotation crop rotation in the IV rotation (1997–2004) over 10 t/ha. **Conclusions.** Complex cultivation of gray forest soil during 1969–2004 had provided an increase in the yield from 1 ha of arable land from 5.02–5.18 to 9.63–10.46 t/ha g.un., or 1.9–2.1 times with a significant advantage (4.3–8.6%) of agrotechnologies based on different depth (6–45 cm) shelf-free tillage (1+5), in particular deep chisel under row crops. Optimization of only physical, agrochemical, phytosanitary and technological units contributes to the successful verification of the fertility model of the experimental ecotope and motivates its further application and improvement.

Key words: stationary experiment, optimal parameters, system cultivation, fertilizers, cultivation, crop rotation's productivity.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202201-01>

Бібліографія

1. Апарин Б.Ф. История человечества как кризис почвенных ресурсов. *No-till* — шаг к идеальному земледелию. *Зерно*. Киев: ЗАТ «Гроші та світ», 2007. С. 110–117.
2. Булигін С.Ю. Формування сталих агроландшафтів. Харків, 2001. 116 с.
3. Медведев В.В. Мониторинг почв України. Концепція. Ітоги. Задачі. Харьков: Городская типография, 2012. 536 с.
4. Наукові основи ефективного розвитку землеробства в агроландшафтах України; за ред. В.Ф. Камінського. Київ: Едельвейс, 2015. 428 с.
5. Щербакоев А.П., Кислых Е.Е. Эффективное плодородие почв: методические аспекты. Москва: Агропромиздат, 1990. 73 с.

6. Шишов Л.Л., Карманов И.И., Дурманов Д.М. Критерии и модели плодородия почв. Москва: Агропромиздат, 1987. 184 с.

7. Смага І.С., Назаренко І.І., Черлінка В.Р. та ін. Створення моделей родючості ґрунту: сучасний стан та перспективи розвитку. *Науковий вісник Чернівецького ун-ту*. Біологія. Вип. 25/2. Чернівці: Рута, 2005. С. 241–246.

8. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві; за ред. М.К. Шикולי. Київ: ПФ «Оранта», 1998. 680 с.

9. Мазур Г.А. Відтворення і регулювання родючості легких ґрунтів. Київ: Аграрна наука, 2008. 308 с.

10. Моделі системного управління потенціалом родючості ґрунтів (на прикладі Харківської

і Волинської областей); за ред. С.А. Балюка, Р.С. Трускавецького. Харків: Стильна типографія, 2018. 116 с.

11. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.

12. Коломісць М.В. Підвищення врожайності польових культур при різному системному обробітку ґрунту. *Землеробство*. Київ, 2003. Вип. 75. С. 61–67.

13. Кулаковская Т.М. Оптимизация агрохимической системы почвенного плодородия. Москва: Агропромиздат, 1990. 210 с.

14. Казаков Г.И. Дифференциация обработки почв в среднем Заволжье. Кинель, 1990. 170 с.

15. Толковый словарь по почвоведению; под ред. А.А. Роде. Москва: Наука, 1975. 179 с.

16. Кауричев И.С., Панов Н.П., Розов Н.Н. и др. Почвоведение. Москва: ВО Агропромиздат, 1989. 722 с.

17. Українсько-російсько-англійський тлумачний словник із загального землеробства; за ред. В.П. Гудзя та ін. Київ: Аграрна наука, 2017. 312 с.

18. Каштанов А.Н., Лыков А.М., Кауричев И.С. Плодородие почвы в интенсивном земледелии: теоретические и методологические аспекты. *Вестник с.-х. науки*. 1983. № 12. С. 12–23.

19. *No-tillage seeding in conservation agriculture*. 2nd edn. Edited by C. J. Baker and K. E. Saxton. CABI and FAO Cromwell Press. Trowbridge. 2007. 326 p.

20. Putte A., Van den, Govers G., Diels J. et al. Assessing the effect of soil tillage on crop growth: a meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *Europ J. Agron.* 2010. V. 33. P. 231–241.

21. Колтунов Н.М. Эколого-ландшафтная организация территории. Москва: Колос, 1998. 137 с.

22. Кирейчева Л.В., Белова И.В. Значения коэффициентов энергетического ресурса почв. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2009. № 4. С. 19–21.

23. Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование почв и управление их качеством. *Почвоведение*. 2011. № 5. С. 582–596.

24. Звягинцев В.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

25. Зведенюк Т.Б., Гаврилов С.О., Тараріко Н.М. Продуктивність зернової сівозміни та родючість сірого лісового ґрунту за різних систем основного обробітку. *Землеробство*. Київ. 2014. Вип. 1–2. С. 24–27.