

## РОДЮЧИСТЬ ТЕМНО-СІРОГО ҐРУНТУ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЯБЛУНІ ЗА ТРИВАЛОГО БЕЗЗМІННОГО ВИРОЩУВАННЯ

О. О. ФОМЕНКО<sup>1</sup>, викладач

Г. О. КОВАЛЕНКО<sup>1</sup>, кандидат сільськогосподарських наук

К. В. ЛИЗУН<sup>1</sup>, фахівець I категорії

Д. І. СИНЕНКО<sup>2</sup>, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)

О. С. ДЕМ'ЯНЮК<sup>2</sup>, доктор сільськогосподарських наук

<sup>1</sup> Уманський національний університет

<sup>2</sup> Інститут агроєкології і природокористування НААН

*Представлено результати комплексних досліджень впливу тривалого беззмінного вирощування яблуні на властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту та ефективність різних систем удобрення. Встановлено, що тривала монокультура яблуні без внесення добрив призводить до інтенсивного підкислення ґрунтового розчину (рН до 4,67), погіршення поживного та водного режиму у кореневмісному шарі ґрунту, що впливає на стан дерев та їх продуктивність. Застосування органічної (гній 40 т/га) та органо-мінеральної (гній 20 т/га + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) систем удобрення забезпечило найбільш збалансований вплив на родючість і продуктивність яблуні. Їх тривале застосування стабілізувало реакцію ґрунтового середовища в межах рН 5,48–5,64, підвищило вміст гумусу (3,10–3,64 %), рухомих форм фосфору (до 336,7 мг/кг) і калію (до 175,0 мг/кг), забезпечило збереження вологи в шарі 0–60 см у критичні фази вегетації (липень). Найвищу врожайність у середньому за 2023–2025 рр. забезпечила органо-мінеральна система удобрення 13,34 т/га з приростом урожаю плодів 3,02 т/га. Застосування гною в нормі 40 т/га сприяло отриманню плодів з найвищою біологічною цінністю за вмістом цукрів (6,13 %) та вітаміну С (5,10 мг/100 г). Результати досліджень є основою для впровадження органо-мінеральної системи як найбільш адаптивної для інтенсивного садівництва в умовах Правобережного Лісостепу.*

**Ключові слова:** темно-сірий опідзолений ґрунт, системи удобрення, монокультура яблуні, показники родючості, врожайність, якість плодів.

**Постановка проблеми.** Важливим аспектом оцінювання стану ґрунту в агроєкосистемах за впливу різних чинників та виявлення негативних наслідків застосування агрозаходів є аналіз агрохімічних, фізико-хімічних і фізичних показників, які безпосередньо відображають зміни його родючості та впливають на сільськогосподарські культури та їх продуктивність [1]. Особливо це актуально для багаторічних плодових насаджень, де якість ґрунту визначає ріст і розвиток та продуктивність дерев [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На думку А. Аhamad з колегами [3], інформація про забезпеченість або дефіцит елементів живлення у ґрунті має

вирішальне значення при оцінюванні його стану та формуванні ефективних стратегій підвищення родючості, зокрема через збалансоване удобрення. Крім того багаторічні дослідження П. Копитка і Р. Яковенка підтверджують необхідність одночасного аналізу стану ґрунту та фізіологічних характеристик дерев, оскільки саме рослини є чутливим біоіндикатором наслідків ґрунтовтоми та проявів хвороби пересадки у яблуневих насадженнях [4, 5]. Дослідження родючості ґрунту в яблуневих насадженнях традиційно зосереджується на комплексному аналізі взаємозв'язків між врожайністю, якістю плодів, фізико-хімічними властивостями ґрунту та ефективністю різних систем удобрення. Окрему увагу приділяють зменшенню внесення мінеральних добрив і заміні їх органічними або іншими альтернативними екологічно безпечними джерелами живлення [6, 7].

Загалом система оцінки стану та родючості ґрунту охоплює понад 100 показників, серед яких найбільш репрезентативні: реакція ґрунтового розчину (рН), вміст органічної речовини, доступних форм азоту, обмінного фосфору та калію, кальцію, магнію, натрію, вміст іонів хлориду, електропровідність тощо [8]. Сукупність цих параметрів забезпечує можливість об'єктивної та всебічної оцінки стану ґрунтового середовища для ефективного вирощування сільськогосподарських культур. Яблуня як багаторічна плодова культура має високі вимоги до збалансованого забезпечення макро- і мікроелементами. Доведено, що формування високих і стабільних урожаїв можливе лише за умови оптимального співвідношення поживних речовин у ґрунті [9]. Порушення та дефіцит поживних речовин, наприклад як дисбаланс азоту і калію, дефіцит калію, магнію і бору може негативно вплинути на ріст і розвиток дерев, знизити їх стійкість до впливу різних чинників, продуктивність та якість врожаю.

**Мета досліджень** – оцінка агрохімічних і агрофізичних показників родючості темно-сірого опідзоленого ґрунту за тривалого беззмінного вирощування яблуні та встановлення їх впливу на стан і продуктивність культури.

**Методика досліджень.** Дослідження проведено у межах співпраці Уманського національного університету та Інституту агроекології і природокористування НААН. Об'єктом дослідження був польовий дослід, який має статус національного надбаня «Унікальна дослідницька агроекосистема яблуневого саду Уманського державного аграрного університету», де з 1931 р. беззмінно вирощується яблуня. В останнє сад було реконструйовано викорчовуванням старих дерев у 2017 р. та висадженням нових у 2018 р. зі збереженням попередніх ділянок досліджуваних варіантів, на яких висаджено дерева яблуні сорту Голден Делішес і Гала на підщепі ММ.106 з площею живлення 5 × 2 м. Міжряддя в насадженнях утримуються під чорним, а пристовбурні смуги – під гербіцидним паром (Раундап Макс, РК – д. р. гліфосату калійна сіль, 551 г/л). Дослідні насадження незрошувані. Характеристику темно-сірого опідзоленого ґрунту наведено в табл. 1.

**Табл. 1. Характеристика темно-сірого опідзоленого ґрунту**

Шари ґрунту, см	рН	Вміст гумусу, %	C/N	N <sub>заг</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				мг/кг ґрунту		
0–20	5,2	2,41	4,2	13,4	184	289
20–40	5,3	2,23	4,1	12,9	146	274

Зразки ґрунту відбирали протягом 2023–2025 рр. відповідно до ДСТУ 4287 : 2004 [10] для визначення агрохімічних і агрофізичних властивостей темно-сірого опідзоленого ґрунту. У зразках ґрунту в лабораторних умовах за чинними державними стандартами визначали: вміст гумусу (ДСТУ4289 : 2004) [11], вміст нітратного азоту (ДСТУ 4729 : 2007) [12], вміст рухомих сполук фосфору і калію (ДСТУ 4115-2002) [13], рН<sub>сол</sub> ґрунтового розчину (ДСТУ 8346 : 2015) [14], запаси вологи за шарами (ДСТУ ISO 16586 : 2005) [15].

Зразки листя яблуні та плодів відбирали за загальноприйнятими методиками [16, 17]. Фенологічні спостереження за ростом і розвитком яблуні проводили за [17, 18]. Стан рослин яблуні в досліді визначала за: вмістом хлорофілу (*a+b*) у листках та сухої речовини, площею листків [16], а також висотою дерев, діаметром крони та річним приростом пагонів, врожайністю плодів [17, 18]. У плодах визначали загальну кислотність (%), масову частку цукрів (%) та вміст вітаміну С (мг/100 г) загальноприйнятими методами [16, 19–21].

Обробку результатів досліджень проводили методами математичної статистики з використанням комп'ютерних програм [22].

**Результати досліджень.** Аналіз показників агрохімічних та агрофізичних властивостей темно-сірого опідзоленого ґрунту показав істотну їх залежність від застосованих систем удобрення яблуні (табл. 2).

**Табл. 2. Агрохімічні та агрофізичні показники темно-сірого опідзоленого ґрунту за вирощування яблуні, 0–60 см, середнє за 2023–2025 рр.**

Варіант досліджу	Гумус, %	Нітратний азот (N-NO <sub>3</sub> )	Рухомий фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Рухомий калій (K <sub>2</sub> O)	Запаси вологи, мм	
					травень	липень
		мг/кг ґрунту				
Без удобрення (контроль)	2,35	20,7	145,3	113,0	145,3	89,6
Гній 40 т/га	3,64	24,6	320,3	173,7	174,0	136,7
Гній 20 т/га + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	3,10	24,2	336,7	175,0	181,8	139,2
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	2,75	22,9	311,0	140,7	133,4	112,7
<i>НІР</i> <sub>05</sub>	<i>0,18</i>	<i>1,3</i>	<i>16,1</i>	<i>7,6</i>	<i>2,8</i>	<i>2,37</i>

Цілкові закономірно, що найвищий вміст гумусу (3,10–3,64 %) у кореневмісному шарі ґрунту (0–60 см) був у варіантах досліду з систематичним унесенням органічних добрив. Зокрема систематичне внесення гною (40 т/га) забезпечило оптимальні умови для процесів гуміфікації і накопичення гумусу і його вміст перевищував контроль на 1,29 в.п. Поєднання гною у нормі 20 т/га з помірною нормою мінеральних добрив (N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) також мало позитивний вплив на збалансування процесів гумусоутворення та накопичення органічної речовини у ґрунті внаслідок чого вміст гумусу зріс на 0,75 в.п. Така система удобрення забезпечує надходження легкодоступних органічних сполук із гною, а мінеральні добрива є джерелом доступних макроелементів для росту і

розвитку рослин та мікроорганізмів, посилюючи кореневі виділення, обсяги фітомаси та мікробіологічну активність у ґрунті [23].

За умови надходження органічної речовини переважно лише з опадом листя, рослинними рештками та кореневими ексудатами, вміст гумусу у контролі (без добрив) був мінімальним – 2,35 %. За тривалого внесення високих норм мінеральних добрив ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) вміст гумусу у ґрунті зріс до 2,75 (на 0,4 в.п.). Ймовірно, за такої системи удобрення яблуня була забезпечена в достатній кількості макроелементами, що сприяло більшому приросту фітомаси, зокрема кореневої, що стало додатковим джерелом вуглецевих сполук для мікробіоти та активізувало її активність. Проте, у цьому варіанті позитивний вплив обмежується тим, що мінеральні добрива не є безпосереднім джерелом гумусових речовин, а діють опосередковано через біомасу рослин.

Максимальний вміст у ґрунті нітратного азоту виявлено у варіантах із внесенням гною (24,2–24,6 мг/кг), що перевищує контроль на 16,9–18,8 %. Мінеральна система ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) також забезпечує приріст азоту, але він дещо нижчий (22,9 мг/кг), що може бути пов'язано з інтенсивнішим вимиванням нітратів за відсутності органіки.

Вміст сполук рухомого фосфору у ґрунті з внесенням добрив перевищував контроль у 2,1–2,3 рази, досягнувши максимуму (336,7 мг/кг) за органо-мінеральної системи. Тобто поєднання гною та мінеральних добрив така система удобрення мало синергетичний ефект щодо рухомості фосфатів та їх доступності для яблуні. Застосування гною (як самостійно, так і в поєднанні з NPK) забезпечило вищий вміст рухомих сполук калію (173,7–175,0 мг/кг) порівняно з мінеральною системою (140,7 мг/кг), що підтверджує роль органічної речовини у збагаченні ґрунту доступними формами  $K_2O$ .

Оцінка запасів вологи в кореневмісному шарі яблуні (0–60 см) підтвердила меліоративну роль органічних добрив та вмісту гумусу у ґрунті ( $r$  0,72–0,89). У травні найбільші запаси вологи у ґрунті сформувалися за органо-мінеральної системи (181,8 мм). Натомість мінеральна система ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) дещо поступалася навіть контрольному варіанту (133,4 мм проти 145,3 мм), що може бути наслідком інтенсивної транспірації вегетативної маси на фоні менш оптимальної структури ґрунту. Це також може бути пов'язано з інтенсивнішим водоспоживанням деревами на фоні активного росту.

У критичний період розвитку дерев (липень) дефіцит вологи у ґрунті був найбільшим у контролі (89,6 мм). Натомість внесення гною (як самостійно, так і в поєднанні з NPK) забезпечило збереження на 52,6–55,4 % більше продуктивної вологи (136,7–139,2 мм), що є вирішальним для формування плодів в умовах літньої посухи [24].

Також спостерігали зміни кислотності ґрунту (табл. 3), а саме поступове підкислення ґрунту під яблуневим садом за 8–9 років залежно від системи удобрення. У свою чергу це може впливати на доступність поживних елементів для яблуні та функціонування ґрунтової мікробіоти. Як свідчать дані табл. 3 у всіх варіантах дослідження спостерігали зниження показника рН порівняно з даними 2016 р. Це природний процес для опідзолених ґрунтів, який посилюється вимиванням основ та життєдіяльністю кореневої системи яблуні.

**Табл. 3. Зміна реакції ґрунтового розчину ( $pH_{\text{сол}}$ ) темно-сірого опідзоленого ґрунту за вирощування яблуні, 0–60 см**

Варіант досліджу	2016 р.*	2023–2025 рр.	± до 2016 р.
Без удобрення (контроль)	5,32	4,67	0,65
Гній 40 т/га	5,91	5,64	0,27
Гній 20 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	5,67	5,48	0,19
$N_{120}P_{120}K_{120}$	5,10	5,07	0,03
<i>НІР<sub>05</sub></i>	0,23	0,18	

Примітка. Дані за 2016 р. [25, С. 332].

У ґрунті контролю фіксували найінтенсивніше зростання кислотності – з 5,32 до 4,67. Тобто без внесення добрив ґрунт найшвидше втрачає свою буферну здатність, переходячи з помірно кислого до сильно кислого. За внесення органічного добрива (гній 40 т/га) зниження показника рН становило 0,27 одиниць. Така система удобрення забезпечила підтримання реакції розчину в межах 5,64–5,91, що є сприятливим для яблуні. Подібні закономірності буферної здатності органічної речовини ґрунту зазначено у роботі Jiang et al. у лісових екосистемах [26].

У варіанті з органо-мінеральною системою удобрення (гній 20 т/га +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) зниження рН було дещо меншим (0,19 одиниці). У варіанті з тривалим внесенням мінеральних добрив ( $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) попри те, що ґрунт від початку був найбільш кислим (5,10), зафіксовано зміну показника лише на 0,03 одиниці. Це може вказувати на те, що за тривалого внесення високих доз мінеральних добрив у ґрунті досягнуто певної межі кислотності.

Встановлено, що застосування різних систем удобрення істотно впливає на біометричні параметри та фізіологічний стан дерев яблуні (табл. 4).

**Табл. 4. Біометричні та фізіолого-біохімічні показники росту і розвитку яблуні, середнє за 2023–2025 рр.**

Варіант досліджу	Сумарний приріст пагонів, см	Висота дерев, м	Діаметр крони, м	Площа листкової поверхні, м <sup>2</sup> /дерево	Вміст хлорофілу (a+b), %		Масова частка води в листках, %	
					червень	серпень	червень	серпень
Без удобрення (контроль)	23,9	1,97	1,27	14,30	2,26	2,78	41,50	36,33
Гній 40 т/га	33,3	2,41	1,74	18,51	3,06	3,95	58,83	48,00
Гній 20 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	33,2	2,34	1,71	18,58	3,14	4,13	54,63	46,30
$N_{120}P_{120}K_{120}$	27,6	2,27	1,53	17,60	2,79	3,52	51,63	42,40
<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,8	0,18	0,12	0,82	0,51	0,54	3,26	2,81

Зокрема, застосування добрив стимулювало активізацію ростових процесів у всіх варіантах порівняно з контролем. Сумарний приріст пагонів був максимальним у варіантах із внесенням органічних та органо-мінеральних добрив (33,2–33,3 см), що на 9,3–9,4 см або 39 % перевищує показники у контролі. Мінеральна система (N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) забезпечила приріст на рівні 27,6 см (або на 3,7 см більше, ніж у контролі). Ключові кількісні параметри, які визначають габітус, а саме висота дерев і діаметр крони, були найвищими у варіанті з внесенням органічних добрив (висота 2,41 м, діаметр 1,74 м). Дещо нижчу висоту (2,34 м) та діаметр крони (1,71 м) формували яблуні за застосування органо-мінеральних добрив.

Тобто ці системи удобрення виявилися майже однаково ефективними. Крім максимального росту, у цих варіантах дослідів яблуні формували найбільшу площу листкового апарату (18,51–18,58 м<sup>2</sup>/дерево) та найкращу стійкість до літнього дефіциту вологи. Високий вміст хлорофілу (*a+b*) в листка як у червні, так і в серпні в цих варіантах свідчить про інтенсивний обмін речовин та високий фотосинтетичний потенціал яблуні.

За біометричними та фізіолого-біохімічними показниками росту і розвитку яблуні варіант із внесенням мінеральних добрив (N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) поступався варіантам із внесенням органічних добрив. Зокрема, дерева були нижчими на 17 %, мали менший діаметр крони та площу листків – на 5–6 %. Оводненість листків була нижчою на 12% і такі дерева є вразливішими до температурного стресу.

До серпня спостерігали природне зростання концентрації суми хлорофілів у листках і найбільш інтенсивне їх накопичення фіксували у варіантах із внесенням гною (3,95–4,13 %). Тоді як у варіанті з внесенням мінеральних добрив цей показник був нижчим і становив 3,52 %, а в контролі – залишився на низькому рівні (2,78 %). Це вказує на те, що органічні добрива забезпечують триваліший та стабільніший синтез пігментів протягом вегетації яблуні. Подібну тенденцію спостерігали і за масовою часткою води у листках. У серпні, на фоні спеки і дефіциту вологи, відбулося закономірне зниження оводненості листків. Проте дерева у варіантах із внесенням гною зберегли кращий водний статус (46,3–48,0 % води) порівняно з контролем, де масова частка води була на критичному рівні 36,33 %.

Аналіз продуктивності насаджень яблуні у середньому за 2023–2025 рр. показав вплив систем удобрення не лише на кількісні, а й на біохімічні показники якості врожаю (табл. 5). Застосування добрив у тривалій монокультурі яблуні забезпечило зростання врожайності в усіх варіантах дослідів. Максимальну врожайність плодів формували яблуні за удобрення органо-мінеральними добривами (гній 20 т/га + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) – 13,34 т/га, що на 29,3 % більше порівняно з контролем. Це підтверджує високу ефективність поєднання швидкої дії мінеральних добрив із тривалим ефектом гною, що дало змогу отримати максимальний приріст урожаю (3,02 т/га) в досліді. У варіантах із внесенням лише органічних (гній 40 т/га) та мінеральних добрив (N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) отримано дещо нижчі, але близькі показники урожайності (12,23 та 11,85 т/га відповідно) та приросту врожаю плодів (1,91 та 1,53 т/га).

Також встановлено, що системи удобрення істотно впливали на хімічний склад плодів.

**Табл. 5. Урожайність яблуні та якісні показники плодів, середнє за 2023–2025 рр.**

Варіант досліджу	Урожайність, т/га	Приріст урожаю, т/га	Загальна кислотність, %	Масова частка цукрів, %	Вміст вітаміну С, мг/100 г
Без удобрення (контроль)	10,32	–	1,03	4,43	2,37
Гній 40 т/га	12,23	1,91	1,33	6,13	5,10
Гній 20 т/га + N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	13,34	3,02	1,27	5,67	4,70
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	11,85	1,53	1,47	5,40	4,19
<i>НІР<sub>05</sub></i>	<i>0,65</i>	–	<i>0,06</i>	<i>0,48</i>	<i>0,19</i>

Найвищий рівень кислотності плодів був у варіанті з внесенням мінеральних добрив у високих нормах (1,47 %), що може бути пов'язано з інтенсивним поглинанням азоту та аніонів мінеральних солей. У контролі цей показник був найнижчим (1,03 %). Найбільша частка цукрів була у яблуках за органічної системи (6,13 %), що на 1,7 в.п. вище за контроль та на 0,46–0,73 в.п. вище за інші системи удобрення. Тобто внесення гною сприяє кращому накопиченню вуглеводів у яблуках. За вмістом вітаміну С також спостерігали перевагу варіантів із внесенням органічних добрив. Максимальний вміст вітаміну С у яблуках був органічної системи (5,10 мг/100 г), що майже вдвічі перевищує контроль (2,37 мг/100 г). Органо-мінеральна система дещо поступається за цим показником (4,70 мг/100 г), проте має перевагу над мінеральною системою удобрення.

**Висновки.** Застосування добрив на темно-сірих опідзолених ґрунтах за тривалого беззмінного вирощування яблуні забезпечує поліпшення агрохімічних та агрофізичних показників та стабілізацію реакцію ґрунтового розчину. Встановлено, що внесення гною (40 т/га) формує найвищу буферність ґрунту до підкислення (рН 5,64), тоді як вирощування яблуні без удобрення сприяло зростанню кислотності ґрунту до критичного рівня (рН 4,67). Органо-мінеральна система (гній 20 т/га + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) забезпечила оптимальний баланс рухомих форм фосфору (336,7 мг/кг) та калію (175,0 мг/кг). Внесення гною сприяло збереженню ґрунтової вологи у кореневмісному шарі ґрунту (0–60 см). Таке поліпшення показників родючості ґрунту позитивно вплинуло на ріст і розвиток яблуні, формування площі листків та їх фізіологічний стан, що забезпечило врожайність яблук на рівні 12,23–13,34 т/га з приростом урожаю 1,91–3,02 т/га та якісними показниками плодів. Тривале внесення мінеральних добрив у високих нормах (N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) було менш ефективним за комплексом досліджуваних показників ґрунту, параметрів дерев яблуні та врожайністю плодів.

## Література:

1. Bünemann E. K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R. E., De Deyn G., de Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T. W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J. W., Brussaard L. Soil quality – a critical review. *Soil Biol. Biochem.* 2018. 120. P. 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
2. Cavael U., Diehl K., Lentzsch P. Assessment of growth suppression in apple production with replant soils. *Ecol. Indic.* 2020. 109. 105846. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105846>
3. Ahamad A., Gupta A., Kumar D. Soil Fertility Evaluation Using Nutrient Index Approach. *J. Krishi Vigyan.* 2021. 10. P. 276–282. DOI: 10.5958/2349-4433.2021.00106.9
4. Копитко П. Г., Яковенко Р. В. Ґрунтові умови та врожайність повторно вирощуваного яблуневого саду за довготривалого удобрення. *Зб. наук. пр. Уманського НУС.* 2021. Вип. 98. Ч. 1 С. 34–47. DOI: 10.31395/2415-8240-2021-98-1-34-47
5. Яковенко Р. В., Копитко П. Г., Садовський І. С. Реагування яблуні в різні вікові періоди повторного вирощування на зміни поживного режиму ґрунту за довготривалого удобрення. *Вісник Уманського національного університету садівництва.* 2020. № 2. С. 95–99. 10.31395/2310-0478-2020-2-95-99
6. Kai T., Adhikari D. Effect of organic and chemical fertilizer application on apple nutrient content and orchard soil condition. *Agriculture.* 2021. № 11(4). P. 340. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040340>
7. Zhang Z., Zhang Z., Fan Z., Leng W., Yang T., Yao J., Chen H., Liu B. Comprehensive analysis of soil physicochemical properties and optimization strategies for “Yantai Fuji 3” apple orchards. *Agriculture.* 2025. № 15(14). <https://doi.org/10.3390/agriculture15141520>
8. Li X., Zhang W. J., Wu L., Ren Y., Sun J., Zhang J. D., Xu M. G. Advance in indicator screening and methodologies of soil quality evaluation. *Sci. Agric. Sin.* 2021. № 54. P. 3043–3056. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2021.14.010
9. Ge S., Zhu Z., Peng L., Chen Q., Jiang Y. Soil nutrient status and leaf nutrient diagnosis in the main apple producing regions in China. *Horticultural Plant Journal.* 2018. № 4(3). P. 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.03.009>
10. ДСТУ 4287 : 2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний від 2005- 07-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с. (Національний стандарт України).
11. ДСТУ 4289 : 2004. Якість ґрунту. Методи визначення органічної речовини. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 18 с. (Національний стандарт України).
12. ДСТУ 4729 : 2007. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ПА ім. О.Н. Соколовського. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 10 с. (Національний стандарт України).
13. ДСТУ 4115-2002. Ґрунти. Визначення рухомих форм фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 12 с. (Національний стандарт України).
14. ДСТУ 8346 : 2015. Якість ґрунту – Методи визначення провідності, рН та твердого залишку водної витяжки. Чинний від 2017-07-01. Київ, Україна, 2017. (Національний стандарт України).
15. ДСТУ ISO 16586 : 2005. Якість ґрунту. Визначення об'ємної вологості ґрунту за відомою щільністю складення на суху масу. Гравіметричний метод

(ISO 16586:2003, IDT). Київ: Держспоживстандарт України, 2007. (Національний стандарт України).

16. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2003. 320 с.

17. Кондратенко П. В., Бублик М. О. Методика проведення польових досліджень з плодовими культурами. Київ: Аграрна наука, 1996. 96 с.

18. Методика проведення експертизи сортів рослин групи плодових, ягідних, горіхоплідних та винограду на відмінність, однорідність і стабільність / За ред. С. О. Ткачик. 2-ге вид., випр. і доп. Вінниця: ФОП Корзун Д.Ю., 2016. 850 с.

19. ДСТУ 4957 : 2008. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення титрованої кислотності. Київ, 2009. 13 с.

20. Кондратенко П. В., Шевчук Л. М., Левчук Л. М. Методика оцінки якості плодово-ягідної продукції. Київ, 2008. 80 с.

21. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії: Підручник. Київ: Дія, 2014. 288 с.

22. ДСТУ 7803 : 2015. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначення вітаміну С. Київ: ДП „УкрНДНЦ”, 2016. 19 с.

23. Дем'янюк О. С., Синенко Д. І. Характеристика мікробного ценозу темно-сірого ґрунту за тривалого беззмінного вирощування яблуні. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2025. Вип. 42. С. 55–71. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.42.55-71>

24. Rayne N., Aula L. Livestock manure and the impacts on soil health: A Review. *Soil Systems*. 2020. № 4(4). P. 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>

25. Яковенко Р. В. Основи підвищення продуктивності яблуні і груші за оптимізованого удобрення : дис. доктора с.-г. наук : 06.01.07 «Плодівництво». Умань, 2022. 384 с.

26. Jiang J., Wang Y.-P., Yu M., Cao N., Yan J. Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils. *Chemical Geology*. 2018. № 501. P. 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.10.009>

## References:

1. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – a critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.

2. Cavael, U., Diehl, K., & Lentzsch, P. (2020). Assessment of growth suppression in apple production with replant soils. *Ecological Indicators*, 109, 105846. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105846>.

3. Ahamad, A., Gupta, A., & Kumar, D. (2021). Soil fertility evaluation using nutrient index approach. *Journal of Krishi Vigyan*, 10, 276–282. <https://doi.org/10.5958/2349-4433.2021.00106.9>.

4. Копытко, Р. Н., & Яковенко, Р. В. (2021). Soil conditions and productivity of a replanted apple orchard under long-term fertilization. *Collection of Scientific Works of Uman National University of Horticulture*, 98(1), 34–47. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2021-98-1-34-47>. [in Ukrainian].

5. Яковенко, Р. В., Копытко, Р. Н., & Sadovskyi, I. S. (2020). Response of apple trees in different age periods of re-cultivation to changes in soil nutrient regime under long-term fertilization. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 2, 95–99. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-2-95-99>.

6. Kai, T., & Adhikari, D. (2021). Effect of organic and chemical fertilizer application on apple nutrient content and orchard soil condition. *Agriculture*, 11(4), 340. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040340>.
7. Zhang, Z., Zhang, Z., Fan, Z., Leng, W., Yang, T., Yao, J., Chen, H., & Liu, B. (2025). Comprehensive analysis of soil physicochemical properties and optimization strategies for “Yantai Fuji 3” apple orchards. *Agriculture*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/agriculture15141520>.
8. Li, X., Zhang, W. J., Wu, L., Ren, Y., Sun, J., Zhang, J. D., & Xu, M. G. (2021). Advance in indicator screening and methodologies of soil quality evaluation. *Scientia Agricultura Sinica*, 54, 3043–3056. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2021.14.010>.
9. Ge, S., Zhu, Z., Peng, L., Chen, Q., & Jiang, Y. (2018). Soil nutrient status and leaf nutrient diagnosis in the main apple producing regions in China. *Horticultural Plant Journal*, 4(3), 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.03.009>.
10. DSTU 4287:2004. (2005). *Soil quality. Sampling*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. [in Ukrainian].
11. DSTU 4289:2004. (2005). *Soil quality. Methods for determination of organic matter*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. [in Ukrainian].
12. DSTU 4729:2007. (2008). *Soil quality. Determination of nitrate and ammonium nitrogen in the modification of NSC ISSAR named after O.N. Sokolovskyi*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. [in Ukrainian].
13. DSTU 4115-2002. (2002). *Soils. Determination of mobile phosphorus and potassium compounds by the modified Chirikov method*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. [in Ukrainian].
14. DSTU 8346:2015. (2017). *Soil quality – Methods for determination of conductivity, pH and solid residue of water extract*. Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].
15. DSTU ISO 16586:2005. (2007). *Soil quality. Determination of soil volumetric water content from known dry bulk density. Gravimetric method (ISO 16586:2003, IDT)*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. [in Ukrainian].
16. Hrytsaienko, Z. M., Hrytsaienko, A. O., & Karpenko, V. P. (2003). *Methods of biological and agrochemical studies of plants and soils*. Kyiv: ZAT “Nichlava”. [in Ukrainian].
17. Kondratenko, P. V., & Bublyk, M. O. (1996). *Methods of field experiments with fruit crops*. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].
18. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Methods of examination of plant varieties of fruit, berry, nut-bearing crops and grapes for distinctness, uniformity and stability* (2nd ed.). Vinnytsia: FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian].
19. DSTU 4957:2008. (2009). *Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of titratable acidity*. Kyiv. [in Ukrainian].
20. Kondratenko, P. V., Shevchuk, L. M., & Levchuk, L. M. (2008). *Methods for quality evaluation of fruit and berry products*. Kyiv. [in Ukrainian].
21. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P., & Kostohryz, P. V. (2014). *Fundamentals of scientific research in agronomy*. Kyiv: Diia. [in Ukrainian].
22. DSTU 7803:2015. (2016). *Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of vitamin C*. Kyiv: DP “UkrNDNTs”. [in Ukrainian].
23. Demianiuk, O. S., & Synenko, D. I. (2025). Characteristics of the microbial cenosis of dark gray soil under long-term continuous cultivation of apple

trees. *Agricultural Microbiology*, 42, 55–71. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.42.55-71>. [in Ukrainian].

24. Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>.

25. Yakovenko, R. V. (2022). *Fundamentals of increasing apple and pear productivity under optimized fertilization* (Doctoral dissertation, specialty 06.01.07 “Fruit Growing”). Uman. [in Ukrainian].

26. Jiang, J., Wang, Y.-P., Yu, M., Cao, N., & Yan, J. (2018). Soil organic matter is important for acid buffering and reducing aluminum leaching from acidic forest soils. *Chemical Geology*, 501, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.10.009>.

### **Annotation**

**Fomenko O. O., Kovalenko G. O., Lyzun K. V., Synenko D. I., Demyanyuk O. S.**  
***Fertility indicators of dark gray podzolized soil and apple tree productivity under long-term continuous cultivation***

*The aim of the research was to evaluate the agrochemical and agrophysical fertility indicators of dark gray podzolized soil under long-term continuous cultivation of apple trees and to determine their influence on the condition and productivity of the crop.*

*The research was conducted within the framework of cooperation between Uman National University and Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS. The object of the study was a field experiment that has the status of a national heritage site, “Unique Research Agroecosystem of the Apple Orchard of Uman State Agrarian University,” where apple trees have been continuously cultivated since 1931.*

*The results of comprehensive studies on the impact of long-term continuous apple cultivation on the properties of dark gray podzolized soil and the effectiveness of different fertilization systems are presented. It was established that prolonged apple monoculture without fertilizer application leads to intensive acidification of the soil solution (pH down to 4.67), deterioration of nutrient and water regimes in the root-inhabited soil layer, which negatively affects tree condition and productivity. The application of organic (manure at 40 t/ha) and organo-mineral (manure at 20 t/ha + N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) fertilization systems provided the most balanced effect on soil fertility indicators and apple tree productivity. Their long-term use stabilized the soil reaction within the range of pH 5.48–5.64, increased the humus content (3.10–3.64%), available phosphorus (up to 336.7 mg/kg) and potassium (up to 175.0 mg/kg), and ensured moisture retention in the 0–60 cm soil layer during critical vegetation phases (July). The highest average yield in 2023–2025 was obtained under the organo-mineral fertilization system, reaching 13.34 t/ha with an increase in fruit yield of 3.02 t/ha. The application of manure at a rate of 40 t/ha contributed to obtaining fruits with the highest biological value in terms of sugar content (6.13%) and vitamin C content (5.10 mg/100 g). The research results provide a basis for the implementation of the organo-mineral fertilization system as the most adaptive approach for intensive orchard management under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.*

**Key words:** dark gray podzolized soil, fertilization systems, apple monoculture, fertility indicators, yield, fruit quality.