

## БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНА ОСНОВА РОЗМЕЖУВАННЯ ПОНЯТЬ «ЯКІСТЬ ҐРУНТУ» ТА «ЗДОРОВ'Я ҐРУНТУ»

М. І. РОМАНЮК

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012  
e-mail: [romaniuk.maksym.i@chnu.edu.ua](mailto:romaniuk.maksym.i@chnu.edu.ua)

*Стаття є теоретико-концептуальним оглядовим дослідженням, спрямованим на подолання методологічної невизначеності у сучасному ґрунтознавстві, пов'язаної з взаємозамінним використанням понять «якість ґрунту» (soil quality) та «здоров'я ґрунту» (soil health). Метою роботи є розроблення чіткої концептуальної рамки, яка дозволяє функціонально розмежувати ці терміни та обґрунтувати центральну роль ґрунтового біорізноманіття у трансформації статичного потенціалу ґрунту в його динамічний функціональний стан.*

*Методологічну основу дослідження становить систематизований аналіз і критична деконструкція фундаментальних та сучасних наукових джерел (1997–2024 рр.), присвячених оцінці ґрунтів, біорізноманіттю та екосистемним функціям. Застосовано компаративний аналіз для зіставлення статичних і динамічних властивостей ґрунту, структурно-функціональний синтез для побудови авторської моделі, а також елементи полемічного аналізу для виявлення суперечностей у підходах до біологічної індикації. Аналіз охоплює класичні концепції якості ґрунту та сучасні підходи до оцінки здоров'я ґрунту, з особливим акцентом на ролі ґрунтової біоти й трофічної мережі.*

*У результаті дослідження доведено, що якість ґрунту доцільно трактувати як сукупність успадкованих і повільно змінних конституційних властивостей, які визначають довгостроковий потенціал ґрунтової екосистеми, тоді як здоров'я ґрунту є динамічною характеристикою, що відображає актуальний функціональний стан ґрунту та його здатність надавати екосистемні послуги під впливом управлінських практик. Показано, що саме ґрунтове біорізноманіття є ключовим функціональним механізмом, який забезпечує кругообіг поживних речовин, стабілізацію структури, секвестрацію вуглецю та мультифункціональність ґрунту.*

*У статті представлено авторську рамку біорізноманітно-опосередкованого здоров'я ґрунту (РБОЗГ). Ця модель аналітично інтегрує статичні конституційні властивості (як основу якості), біологічні рушії (як активне біорізноманіття) та динамічні екосистемні виміри (як результат здоров'я ґрунту). Автор пропонує системний підхід, де ґрунтова біота позиціонується не просто як один із параметрів, а як основний «інженер», що забезпечує функціональну мультифункціональність системи.*

*Практичне значення дослідження полягає у формуванні теоретичної основи для біологічно орієнтованих систем оцінки ґрунтів і обґрунтуванні біорізноманіття як ключового об'єкта управління у стратегіях сталого землекористування.*

*Ключові слова:* здоров'я ґрунту, якість ґрунту, біорізноманіття, РБОЗГ, конституційні властивості ґрунту, ґрунтова біота, трофічна мережа ґрунту

**Вступ.** Незважаючи на те що ґрунт обмежений природний ресурсом, він забезпечує життєво важливі екосистемні послуги, необхідні для функціонування біосфери. Ці послуги визначають забезпечення продовольчої безпеки, регуляцію водного та енергетичного балансу, підтримку клімату через секвестрацію вуглецю та підтримку біорізноманіття. Деградація ґрунтів є однією з найгостріших сучасних екологічних проблем яка спричинена інтенсивним веденням сільського господарства, зростанням антропогенного тиску на ґрунти та глобальними кліматичними змінами. Для переходу до сталого управління землями сільськогосподарського призначення критично важливо розробити точні,

оперативні та комплексні методи оцінки стану ґрунтового покриву.

За даними Міжнародного наукового проекту «Глобальна оцінка деградації ґрунтів 1990 р.» понад 2 млрд га на планеті схильні до різних видів деградації, із них 55,6 % – піддаються впливу водної ерозії; 27,9 % – вітрової ерозії (дефляції); 12,0 % – дії хімічних чинників; 4,2 % – фізичних (ущільнення, підтоплення тощо). Учені прогнозують, що за збереження такого темпу через 120–150 років на планеті може бути повністю зруйновано родючий шар ґрунту (Міжнародний науковий проект «Глобальна оцінка деградації ґрунтів» 1990).

Традиційна оцінка стану ґрунтів була тісно пов'язана з концепцією родючості та здатністю ґрунту забезпечувати високий потенціал урожайності культур, з акцентом на фізичних та хімічних властивостях. Концепція «якість ґрунту» (soil quality) розглядала ґрунт як середовище, здатне виконувати свої функції в межах природних або керованих екосистем. Однак, наприкінці ХХ століття стало зрозуміло, що цей підхід недооцінює роль біологічного компонента ґрунту, який є динамічним рушієм більшості екосистемних процесів (Bünemann, E. K. et al. 2018).

Еволюція наукової думки призвела до зміщення акценту від оцінки лише потенціалу врожайності та вмісту поживних речовин в ґрунті до оцінки його екологічної якості, безпеки харчових продуктів та комбінованого підходу до управління земельними ресурсами. Це призвело до виникнення та виокремлення іншого терміну – «здоров'я ґрунту» (soil health) (Lehmann, J. et al. 2020). Незважаючи на це розмежування, значне концептуальне перекриття спричинило часто взаємозамінне використання цих термінів, що створює методологічну неточність у розробці інструментів моніторингу.

Відсутність єдиного підходу до дефініцій «якість ґрунту» та «здоров'я ґрунту» створює суттєві перешкоди для вдосконалення методології оцінювання та розробки дієвих систем моніторингу. Для розв'язання цієї проблеми необхідно розмежувати ці поняття: якість слід розглядати як сукупність статичних показників потенціалу ґрунту, тоді як здоров'я – як його здатність до динамічного функціонування у відповідь на антропогенний вплив. Оскільки ключові екологічні процеси, зокрема колообіг поживних елементів, зумовлені життєдіяльністю організмів, фундаментальне значення у забезпеченні функціональності ґрунту належить його біорізноманіттю. Саме ґрунтова біота (від мікроорганізмів до макрофауни) виступає рушійною силою, що трансформує теоретичний потенціал ресурсу в його активний, здоровий стан.

Метою цього дослідження є розробка та аргументація чіткої концептуальної рамки, що розмежовує «якість ґрунту» та «здоров'я ґрунту», підкреслюючи при цьому незамінну, центральну роль ґрунтового біорізноманіття у формуванні функціонального стану ґрунту.

Науковий внесок роботи полягає у представленні Рамки біорізноманітно-опосередкованого здоров'я ґрунту (РБОЗГ) — авторської моделі, яка аналітично інтегрує статичні конституційні властивості, біологічні

рушії та динамічні екосистемні виміри ґрунту, забезпечуючи системний підхід до його оцінки та управління.

**Матеріали та методи.** Це дослідження класифікується як теоретико-концептуальний огляд із застосуванням елементів систематичного аналізу літератури. Вибір цієї методології обумовлений необхідністю усунення методологічної неточності, спричиненої взаємозамінним використанням термінів «якість» і «здоров'я» ґрунту, що вимагає глибокого теоретичного та порівняльного аналізу основоположних дефініцій.

Процес відбору джерел базувався на критеріях включення, що гарантували релевантність та авторитетність інформації. Було включено основоположні роботи, що описують пряме розмежування або зіставлення понять якості та здоров'я ґрунту (наприклад, праці Doran, Karlen). Також до аналізу включені актуальні рецензовані огляди (наприклад, Bünemann, Lehmann, Wall), що розкривають функціональний зв'язок між ґрунтовою біотою та екосистемними функціями ґрунту.

Часові межі аналізу були визначені з кінця 1990-х років, коли концепції якості ґрунту почали набувати формального наукового визначення, до найновіших публікацій 2024 року, що стосуються інтеграції біологічних індикаторів та багатофункціональності. Критеріями виключення слугували матеріали, що не пройшли академічного рецензування, або ті, що мають виключно вузькоприкладний характер, не сприяючи концептуальному синтезу.

Застосовані наступні методи аналізу для обґрунтування концептуальних рамок:

1. Компаративний аналіз: Використаний для систематичного зіставлення статичних та динамічних характеристик ґрунту, що дозволило чітко розділити показники якості та здоров'я. Це стало основою для Таблиці 1 та Таблиці 2, що підвищує структурованість викладу.

2. Структурно-функціональний синтез: Цей метод був застосований для побудови авторської рамки біорізноманітно-опосередкованого здоров'я ґрунту (РБОЗГ). У цій моделі конституційні властивості (якість ґрунту) формують структуру, ґрунтова біота (біорізноманіття) — позиціонується як функціональний рушій, а екосистемні послуги (здоров'я ґрунту) — як вихідний результат.

3. Критична деконструкція (Полеміка): Застосування цього методу дозволило провести аналіз суперечностей у визначенні та вимірюванні біологічних

індикаторів, що є ключовим елементом підвищення аналітичної глибини роботи.

**Результати та їх обговорення.** Результати аналізу літературних джерел свідчать, що необхідність розмежування якості ґрунту та здоров'я ґрунту виникає через їхній різний предмет оцінки (або об'єкт дослідження).

Якість ґрунту (soil quality) є ширшим, більш стабільним поняттям. Воно включає успадковані властивості ґрунту, які не піддаються швидкій зміні, такі як мінералогія, гранулометричний склад, глибина ґрунтового профілю та кліматична зона. Якість ґрунту описує його фундаментальну здатність підтримувати життя, закладену природоутворюючими процесами, і вона є відносно постійною. Оцінка якості ґрунту визначає його довгостроковий потенціал щодо підтримки життя та обмеження, що визначаються його успадкованими властивостями (Doran, J. W. et al 1997).

Ранні наукові підходи, які віддавали перевагу терміну якість ґрунту (наприклад, Doran, J. W. et al 1997), зосереджувалися на кількісних індикаторах, оскільки вони мають потенціал бути легко вимірними та статистично інтегрованими для визначення довгострокової стійкості. Визначення якості ґрунту допомагає ідентифікувати його довгострокові обмеження, задані типом ґрунту. Ці успадковані властивості ґрунту (наприклад, текстура, глибина до скельної породи) формуються тисячоліттями і є практично незмінними або змінюються дуже повільно під впливом управлінських практик. Вони встановлюють природні межі, в

яких може функціонувати ґрунтова екосистема (U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service [USDA NRCS], 2015).

Здоров'я ґрунту (soil health), навпаки, є динамічним, функціонально орієнтованим поняттям, яке зосереджене на властивостях які можуть бути змінені управлінськими практиками протягом короткого періоду часу. Здоров'я ґрунту описує не тільки потенціал щодо підтримки життя, а й актуальний стан ґрунту як живої системи, здатної підтримувати біологічні процеси, що забезпечують екосистемні послуги, необхідні для здоров'я рослин, тварин та людини. (Karlen, D. L. et al. 2017). Таке функціональне розмежування є критичним, оскільки воно визначає стратегію втручання: неможливо змінити успадковані властивості ґрунту, але можна активно впливати на його здоров'я через такі практики як мінімалізація обробки, застосування органічних добрив, або використання покривних культур. Отже якщо концепція «якість» зосереджена на внутрішньому, потенційному стані ґрунту (переважно хімічні та фізичні властивості), то «здоров'я» фокусується на його динамічній здатності виконувати екосистемні функції під впливом управління земельними ресурсами.

Для систематизації розмежування, проведеного на основі теоретичного аналізу, була розроблена поглиблена порівняльна таблиця (табл 1), яка підкреслює різницю між статичним потенціалом та динамічною функціональністю.

Таблиця 1.

*Порівняльний аналіз концепцій якості ґрунту та здоров'я ґрунту*

Table 1.

*Comparative analysis of soil quality and soil health concepts*

Параметр	Якість ґрунту (soil quality)	Здоров'я ґрунту (soil health)	Аналітична відмінність
Фокус	Успадковані, незмінні (статичні) властивості (гранулометрія, мінералогія)	Динамічні властивості, що модифікуються заходами управління (біологічні, лабільні хімічні)	Потенціал vs. Актуальний стан
Ключове визначення	Здатність ґрунту функціонувати в межах природних екосистем (загальний потенціал)	Здатність ґрунту функціонувати як жива система, підтримуючи здоров'я рослин, тварин та людини	Конституційні обмеження vs. Біологічна стійкість/адаптивність
Часова стабільність	Довгострокова стійкість, повільні зміни (десятиліття)	Швидка реакція на управління та стресори (сезонна динаміка)	Низька vs. Висока чутливість до антропогенного впливу
Пріоритетні індикатори	Фізичні (щільність, пористість) та основні хімічні властивості (рівень кислотності, сміність катіонного обміну)	Біологічні (ферментативна активність, мікробна біомаса) та лабільні пули C/N	Хіміко-фізичний потенціал vs. Біологічний обіг/Енергетичний потік

Існує відома полеміка щодо використання цих термінів. Хоча науковці традиційно віддавали перевагу кількісному терміну «якість ґрунту» через можливість статистичної інтеграції

вимірюваних властивостей, фермери у 1990-х роках виявили перевагу терміну «здоров'я ґрунту». Ця різниця пояснюється тим, що «здоров'я ґрунту» краще відображає динамічні,

якісні зміни, які можна спостерігати та активно регулювати на практиці, що надає терміну більшої прагматичної цінності. У контексті управлінської політики, якість ґрунту є корисною для визначення довгострокових обмежень (землепорядкування), тоді як здоров'я ґрунту є критично важливим для оперативного моніторингу ефективності практик сталого розвитку (Ramirez II, 2019).

Для ефективного управління ґрунтовими ресурсами та оцінки їх стану критично важливо розрізнити два фундаментальні класи показників. Перший — це стабільні, або статичні, властивості якості ґрунту, такі як текстура,

потужність профілю та рельєф, які визначають його успадкований потенціал та обмеження і практично не піддаються агротехнічному впливу. Другий клас — це динамічні показники здоров'я ґрунту, що включають органічну речовину, мікробну активність, агрегацію та кислотність ґрунту. Ці показники відображають поточний функціональний стан ґрунту як живої екосистеми і є високочутливими до управлінських рішень. У табл. 2. представлено детальну класифікацію та опис цих ключових показників, що підкреслює їхню роль у комплексній оцінці ґрунту.

Таблиця 2.

*Основні показники здоров'я та якості ґрунту*

Table 2.

*Key indicators of soil health and quality*

Показник	Категорія властивості	Суть показника	Взаємозв'язок з екосистемними функціями
Текстура (гранулометричний склад)	Успадкована	Співвідношення (у %) трьох мінеральних часток: піску, мулу та глини.	Впливає на утримання води та поживних речовин, умови обробітку ґрунту
Потужність ґрунтового профілю	Успадкована	Загальна глибина ґрунту від поверхні до обмежувачого шару (наприклад, материнської породи, щільної глини, ґрунтових вод).	Визначає загальний об'єм ґрунту доступний для росту коренів. Впливає на стійкість до посухи.
Рельєф та ухил	Успадкована	Форма земної поверхні (наприклад, вершина пагорба, долина) та крутизна схилу поля.	Контролює рух води (ризик ерозії, змиву). Впливає на інфільтрацію та поверхневий стік.
Катіонообмінна ємність	Успадкована	Здатність ґрунту (глини та гумусу) утримувати на своїй поверхні позитивно заряджені іони (катіони), такі як Кальцій ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Магній ( $\text{Mg}^{2+}$ ), Калій ( $\text{K}^+$ ) та захищати їх від вимивання.	Визначає, скільки добрив ґрунт може утримувати та віддавати рослинам, здатність ґрунту протистояти змінам рівня кислотності
Кислотність (рН)	Динамічна	Міра концентрації іонів водню ( $\text{H}^+$ ) в ґрунтовому розчині. Визначає, чи є ґрунт кислим, нейтральним чи лужним.	Контролює доступність всіх поживних речовин. Впливає на активність мікробів.
Органічна речовина	Динамічна	Всі органічні сполуки в ґрунті (живі та мертві). Поділяється на: <ul style="list-style-type: none"> <li>• неспецифічна (лабільна органічна речовина): свіжі рештки; «їжа» для мікробів.</li> <li>• специфічна (гумус): стабільна, стійка до розкладу органічна речовина.</li> </ul>	Джерело енергії для мікробів. Покращує структуру (агрегацію). Є основним джерелом N, P, S.
Агрегація	Динамічна	Здатність частинок ґрунту утворювати стабільні агрегати.	Покращує інфільтрацію води та аерацію.
Структура	Динамічна	просторове розташування та організація ґрунтових агрегатів і пор між ними.	Визначає рух повітря, води та ріст коренів рослин. Забезпечує проникнення води в ґрунт, а не стікання.
Мікробна активність	Динамічна	Діяльність та біомаса ґрунтових мікроорганізмів (бактерії, гриби) та більших істот (напр., дощові черв'яки).	Ключова для кругообігу поживних речовин та живлення рослин. Приймає безпосередню участь в утворенні агрегатів ґрунту.

Біорізноманіття ґрунту є не просто компонентом, а функціональною основою, яка підтримує складну мережу екосистемних послуг. Ґрунт є живим екосистемним

середовищем, і його здоров'я неможливе без активності об'єднань грибів, бактерій, водоростей та інших організмів. Ці організми є

посередниками у ключових біогеохімічних циклах (Wall, D. H. et al. 2022).

Більшість ґрунтових організмів живляться енергією, похідною від відновлених форм вуглецю, що робить перенесення вуглецю та пов'язані з ним енергетичні потоки основним інтегруючим фактором у функціонуванні ґрунтової екосистеми. Мікробіом ґрунту та рослин виконує вирішальні ролі у підтримці здоров'я ґрунту та продуктивності рослин через такі послуги, як кругообіг поживних речовин, забезпечення поглинання поживних речовин рослинами та пригнічення хвороб. Ці послуги класифікуються як регулюючі (секвестрація вуглецю, запобігання вимиванню мінерального азоту), забезпечувальні (первинна продукція) та підтримувальні (кругообіг поживних речовин, формування та стабілізація структури ґрунту) (Kibblewhite, M. G. et al. 2008).

Емпіричні дані однозначно підтверджують, що втрата ґрунтового біорізноманіття безпосередньо призводить до вимірюваного зниження мультифункціональності екосистеми. Це відбувається тому, що різні таксономічні групи (гриби, бактерії, нематоди) спеціалізуються на виконанні різних, часто незамінних, екосистемних процесів. Зникнення цих вузькоспеціалізованих груп призводить до каскадного колапсу, оскільки їхня унікальна роль не може бути компенсована, що й руйнує загальну мультифункціональність та стійкість ґрунтової екосистеми.

Дослідження чітко ілюструють цей зв'язок на конкретних прикладах. Продуктивність рослин прямо залежить від різноманіття мікоризних грибів. Експерименти (Van der Heijden et al., 1998) показали, що ділянки з високим різноманіттям грибів (14 видів) демонстрували на 80% вищу продуктивність рослин порівняно з ділянками, де був лише один вид. Причина, виявлена завдяки 234%-му зростанню поглинання фосфору, полягала в тому, що всі види грибів виконували різні функції. Деякі краще засвоювали фосфор, зв'язаний з органікою, інші — фосфор, зв'язаний з мінералами. Інші види мали довші гіфи і проникали в ґрунт глибше, інші були агресивнішими у колонізації коренів. Жоден вид одноосібно не здатний виконувати такі функції, а взаємодія з 14 видів могла повною мірою "розблокувати" весь доступний фосфор у ґрунті (Van der Heijden et al., 1998). Втім, наукова дискусія навколо цього дослідження часто апелює до "ефекту вибору" (selection effect). Опоненти припускають, що зростання продуктивності могло бути спричинене не взаємодією всіх 14 видів, а високою ймовірністю

присутності серед них одного домінантного "супер-виду", який самотужки забезпечив більшу частину результату. Проте Van der Heijden аргументує на користь нішевої комплементарності: різні види грибів спеціалізувалися на різних формах фосфору (органічний vs мінеральний) або мали різну морфологію гіфів, що дозволяло "розблокувати" весь ресурсний потенціал ґрунту, недоступний для окремого виду.

Кругообіг поживних речовин критично залежить від наявності ґрунтової фауни, зокрема нематод. Зміна їхньої кількості порушує систему ґрунтових організмів та їх взаємодії. Дослідження (Eisenhauer et al., 2012) показали, що відсутність ґрунтової фауни уповільнює розкладання органічної речовини на 15-20%, оскільки поживні речовини (особливо азот) залишаються нерозкладеними у мікробній біомасі і не вивільнюються для рослин. Також було досліджено що за 10 років на ділянках з високим біорізноманіттям (60 видів) накопичилося на 40% більше органічного вуглецю у верхньому шарі ґрунту, ніж за монокультури. Це сталося тому, що більш різноманітні та продуктивні рослини мали глибші та різноманітніші кореневі системи, які ефективніше секвестрували вуглець у ґрунт, де він стабілізувався (Eisenhauer et al., 2012).

Загальна мультифункціональність зумовлює здатність ґрунту виконувати багато завдань одночасно. Експерименти з маніпуляцією цілими спільнотами мікроорганізмів (Wagg et al., 2014) довели, що ґрунти з найвищим біорізноманіттям мали індекс мультифункціональності (що поєднував 8 різних функцій) на 34% вищий, ніж ґрунти з низьким біорізноманіттям. Наприклад, гриби були найкращими у розкладанні складного вуглецю, але асоціації ґрунтової фауни без найпростіших та нематод мали дуже повільний кругообіг азоту. Причина полягає в тому що найпростіші та нематоди, поїдаючи бактерій, вивільняли накопичений у їх тілах азот (Wagg et al., 2014). Це дослідження підкреслює важливість трофічних взаємодій: якщо гриби були ефективними у деструкції складного вуглецю, то без найпростіших та нематод кругообіг азоту майже зупинявся.

Варто зауважити, що позитивний зв'язок між біорізноманіттям та функціями може послаблюватися в умовах інтенсивного землеробства. При надмірному внесенні мінеральних добрив рослини можуть «відключати» симбіотичні зв'язки з грибами, що нівелює переваги комплементарності, підтримка біорізноманіття є найбільш критичною для сталих та ресурсне-лімітованих систем, де

біологічні механізми є основним рушієм продуктивності.

Таким чином, втрата різноманіття ґрунтової біоти — це не абстрактна екологічна проблема, а пряма, кількісно доведена причина зниження здатності ґрунту підтримувати високу

продуктивність та забезпечувати ключові екосистемні послуги.

Взаємозв'язок між здоров'ям ґрунту та біорізноманіттям найкраще ілюструє модель трофічної мережі ґрунту представленої на (рис 1.).

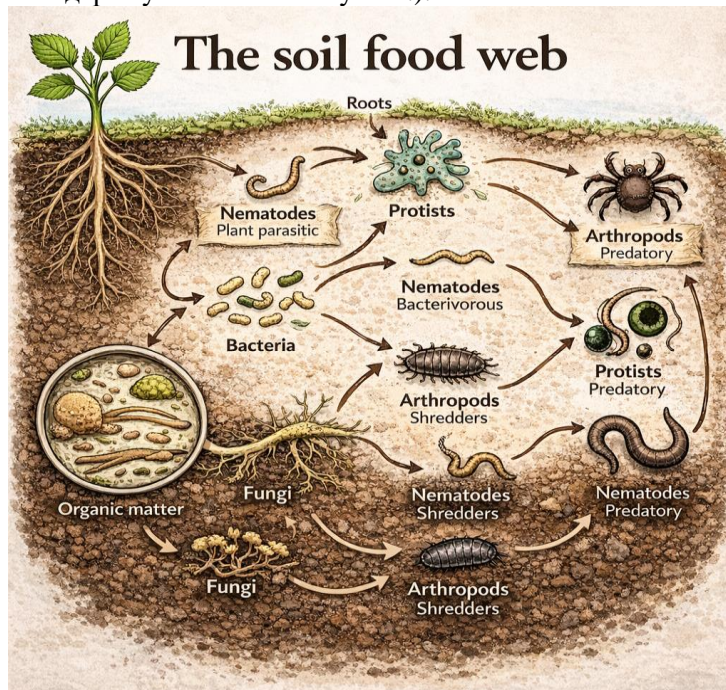


Рис. 1. Трофічна мережа ґрунту

Fig. 1. The soil food web

Будь-яка трофічна мережа починається з джерела енергії. У ґрунті це живі корені рослин які постачають енергію через ексудати (цукри, амінокислоти) та безпосередньо стають їжею для фітофагів а також відмерлі частини рослин, тварин та мікроорганізмів які є головним паливом для ґрунтової біоти.

На першому трофічному рівні знаходяться організми що безпосередньо споживають органіку або взаємодіють з корінням:

- Бактерії та гриби: бактерії спеціалізуються на легкодоступних сполуках, тоді як гриби здатні розкласти складні полімери (лігнін, целюлозу).
- Членистоногі-подрібнювачі (Shredders): мокриці, тироліфи. Вони механічно руйнують великі шматки органіки, збільшуючи площу поверхні для подальшої роботи мікробів.
- Нематоли (паразити рослин): живляться безпосередньо соками живих коренів.

Другий трофічний рівень це споживачі мікрофлори:

- Протисти (найпростіші): Амеби та джугутикові, які активно поїдають бактерії.
- Бактеріодні нематоли: Спеціалізовані черви, що фільтрують бактеріальну масу.
- Мікофаги: Організми (деякі нематоли та дрібні членистоногі), що живляться гіфами грибів.

Саме на цьому рівні енергія передається від бактерій та грибів до тих, хто ними живиться, а також відбувається активне вивільнення азоту. Бактерії містять більше азоту, ніж потрібно їхнім споживачам, тому надлишок виділяється у ґрунт у формі, доступній для рослин ( $NH_4^+$ ).

На вищих трофічних рівнях знаходяться хижаки які виступають регуляторами системи та контролюють чисельність нижчих рівнів:

- Хижі нематоли: полюють на інших нематод, протистів та навіть дрібних личинок.
- Хижі членистоногі: павуки, хижі кліщі, багатоніжки. Вони є «верхівкою» підземного світу (хоча самі можуть ставати здобиччю для птахів чи ссавців).
- Хижі протисти: великі форми найпростіших, що полюють на дрібніших родичів.

Всупереч традиційним уявленням про рослин як про пасивних споживачів, сучасні дані підтверджують їхню активну роль у побудові ґрунтового мікробіому. Центральним механізмом цього процесу є виділення корневих ексудатів — специфічних органічних сполук. Ці сполуки діють як хімічні сигнали, що цілеспрямовано залучають мікробні спільноти. Залучені мікроби виконують функції, що відповідають поточним фізіологічним потребам рослини, наприклад,

розчиняють важкодоступні для рослин сполуки фосфору або калію (Harkes P. 2021).

Область високої біологічної активності навколо кореня називається ризосферою. Вона функціонує як «другий геном» рослини, будучи критичним центром взаємодії, де мікробне різноманіття та активність значно перевищують показники в основній масі ґрунту (Prashar, P. et al. 2014). Це вказує на двосторонній характер зв'язку: не лише здоровий ґрунт підтримує ріст рослин, але й рослини, у свою чергу, активно формують і підтримують здоров'я ґрунту, створюючи сприятливе середовище для біоти, яка надає їм необхідні екосистемні послуги.

Концептуальне розуміння ґрунту як динамічної живої системи, а не лише як інертного середовища для механічної підтримки рослин, докорінно змінило підходи до оцінки його якості в сучасній агрономії та екології. Біологічні індикатори виступають найбільш інформативними маркерами, оскільки вони демонструють високу чутливість до антропогенних стресів, кліматичних змін та методів землекористування, реагуючи на них значно швидше, ніж фізико-хімічні параметри. Біологічна індикація базується на здатності ґрунтової біоти відображати стан екосистеми через зміни своєї чисельності, різноманіття, біомаси, активності та метаболічних функцій. Ефективний біологічний індикатор повинен бути науково інтерпретованим, тісно корелювати з екосистемними процесами, інтегрувати фізичні та хімічні властивості ґрунту, бути доступним для аналізу та володіти високою відтворюваністю результатів. Оскільки ґрунт є середовищем існування для мільйонів організмів — від вірусів і бактерій до макрофауни — вибір конкретних індикаторів вимагає розуміння їхніх ролей у ключових функціях ґрунту, таких як трансформація органічної речовини, кругообіг нутрієнтів та формування ґрунтової структури (Davies, E. 2022).

Існує фундаментальна дилема між бажанням використовувати біологічні показники (бо вони динамічні та чутливі) та їхньою методологічною складністю, спричиненою високою часовою та просторовою гетерогенністю. Більшість біологічних індикаторів є похідними властивостями (наприклад, дихання, ферменти), які використовуються як сурогати (замінники) для вимірювання процесів, опосередкованих ґрунтовою біотою ( Van Eerd, L et al. 2022).

Мікробна біомаса ґрунту (лабільні пули C та N) є чудовим індикатором, оскільки вона швидко реагує на надходження органічної речовини та зміни в управлінні. Однак, її вимірювання як

індикатора має серйозні виклики пов'язані з тим що мікробна спільнота швидко змінюється відповідно до зовнішніх умов, таких як температура та вологість. Це вимагає надзвичайно точного планування часу та місця відбору проб, оскільки результати, отримані в різні сезони, не завжди можна прямо порівняти. Хоча методи на основі полімеразної ланцюгової реакції (PCR) дозволяють визначити кількість генів або функціональних груп (наприклад, наявність мікоризної зв'язаності), кількість генів не можна прямо екстраполювати на фактичну біологічну активність процесу чи загальну мікробну біомасу ( Van Eerd, L et al. 2022).

Ґрунтова респірація  $CO_2$  є мірою загальної біологічної активності та мінералізації вуглецю. Однак, як діагностичний інструмент, вона має суттєві обмеження, одним з яких є те що швидкість виділення  $CO_2$  критично залежить від температури (активність припиняється нижче  $5^\circ C$ ). Вимірювання є інтегративним і включає мікробну респірацію, респірацію коренів рослин та фауни, що ускладнює діагностику конкретного процесу, який знаходиться під впливом управління ( USDA Natural Resources Conservation Service. 2022).

Ферментативна активність (наприклад, дегідрогеназа, фосфатаза) має високий потенціал для біологічної оцінки, оскільки ферменти є посередниками ключових біогеохімічних циклів (N, P, C), однак недавні глобальні дослідження показали, що розподіл мікробних ферментів може відображати одночасні обмеження як азоту, так і фосфору, а не лише одного елемента (Nambudiri, S. 2025). Це вимагає відходу від використання окремих показників до інструментів екоензиматичної стехіометрії (аналізу співвідношень різних ферментів) для більш точного визначення обмежень ресурсів у ґрунті.

Оскільки жоден окремий індикатор (будь то ферментативна активність чи мікробна біомаса) не може повною мірою визначити здоров'я ґрунту, для стійкої оцінки критично необхідне використання Індексів якості ґрунту (SQI). SQI є кількісним підходом, який комбінує множинні властивості ґрунту, забезпечуючи загальну оцінку його функції та продуктивності.

Створення інтегративного індексу включає наступні кроки:

1. Відбір мінімального набору даних (Minimum Data Set): визначення ключових статичних та динамічних індикаторів, які є найбільш чутливими до змін управління. (Mukherjee, A et al. 2014).

2. Використання функцій оцінювання

(Scoring Functions): нормалізація індикаторів для їхнього об'єднання. Використовуються три основні типи функцій, залежно від ролі показника: «чим більше — тим краще» (наприклад, органічний вуглець), «оптимум — найкращий» (наприклад, рН), та «чим менше — тим краще» (наприклад, щільність) (Mukherjee, A et al. 2014).

3. Кінцева інтеграція: об'єднання індивідуальних оцінок у єдиний загальний індекс ґрунтового здоров'я, часто за допомогою зваженого середнього. Такий динамічний підхід дозволяє ідентифікувати критичні параметри та сприяє коригувальним діям для сталого управління. (Mukherjee, A et al. 2014).

З метою забезпечення наукової новизни та представлення самостійного теоретичного внеску, розроблена структурно-функціональна модель - рамка біорізноманітно-опосередкованого здоров'я ґрунту (РБОЗГ). Вона є центральним науковим внеском статті, розробленим для подолання методологічної невизначеності між поняттями «якість ґрунту» та «здоров'я ґрунту». Замість того, щоб просто перераховувати відмінності між якістю та здоров'ям ґрунту, РБОЗГ пропонує чітку, причинно-наслідкову структурно-функціональну модель, де ґрунтове біорізноманіття займає позицію критичного функціонального рушія (медіатора).

Розроблення моделі РБОЗГ було зумовлене необхідністю:

1. Перетворити концептуальне розмежування на причинно-наслідковий зв'язок: модель пояснює, як статичні властивості ґрунту трансформуються в динамічні функції під впливом управління.

2. Аргументувати функціональну роль біоти: Вона позиціонує біорізноманіття не як простий індикатор, а як активний механізм «інженера», без якого більшість екосистемних послуг неможлива.

3. Визначити межі та потенціал управління: Модель чітко розмежує успадковані обмеження (на які не можна вплинути) та динамічні процеси (які можуть бути змінені завдяки управлінським практикам).

РБОЗГ складається з трьох послідовних і взаємопов'язаних функціональних блоків:

Блок I: ЯКІСТЬ ҐРУНТУ (конституційні обмеження)

Цей блок являє собою статичну основу ґрунту, яка була сформована в процесі еволюції та природоутворюючих процесів. Він описує потенційну продуктивність ґрунту,

встановлюючи максимальні фізичні та хімічні межі для всіх наступних екосистемних функцій.

- Складові: успадковані та повільно змінні властивості, такі як гранулометричний склад (текстура), мінералогія, потужність ґрунтового профілю та катіонообмінна ємність (КОЄ).

- Функція: визначає «стелю» або «конституційне обмеження» для здоров'я. Наприклад, ґрунт із низькою КОЄ має низький потенціал для утримання поживних речовин, і це обмеження не може бути усунуте навіть найкращими управлінськими практиками.

Блок II: БІОРІЗНОМАНІТТЯ (функціональний рушій / медіатор)

Це центральний, динамічний механізм моделі. Біорізноманіття (мікроорганізми, мезо- та макрофауна) виступає каталізатором, який перетворює статичний потенціал Блоку I на активні процеси.

- Складові: якісні та кількісні характеристики ґрунтової біоти, генетичне різноманіття, структура трофічної мережі, активність мікробів у ризосфері.

- Функція: забезпечує резилієнтність, функціональну надмірність (коли різні види виконують схожі функції, що захищає екосистему від колапсу) та інтенсивність біогеохімічних циклів (зокрема, кругообігу N, P та C). Цей блок є найбільш чутливим до управлінських практик.

Блок III: ЗДОРОВ'Я ҐРУНТУ (екосистемний вихід)

Цей блок є кінцевим результатом функціонування системи. Він відображає актуальний функціональний стан ґрунту та його здатність надавати екосистемні послуги.

- Складові: вимірювані динамічні показники, такі як індекс мультифункціональності, водостійка агрегація, секвестрація вуглецю (C), пригнічення хвороб, мікробна активність та рівень органічної речовини.

- Функція: оцінює фактичну ефективність ґрунту як живої системи, що підтримує здоров'я рослин, тварин та людини.

Модель РБОЗГ підкреслює, що управлінські рішення (наприклад, мінімізація обробітку, внесення органічних добрив) не можуть змінити успадковану якість ґрунту (Блок I). Натомість вони спрямовані на максимізацію Блоку II (Біорізноманіття). Це, у свою чергу, призводить до максимізації виходу Блоку III (Здоров'я ґрунту).

Ключове твердження моделі: Здоров'я ґрунту (Блок III) відображає біологічну стійкість та ефективність, що є кінцевим результатом біологічного посередництва (Блок II), яке діє в



межах конституційних, фізико-хімічних обмежень (Блок I).

Для ілюстрації причинно-наслідкового зв'язку між блоками РБОЗГ та демонстрації, як біота

перетворює статичний потенціал на динамічну функціональність, розглянемо процес поглинання фосфору (табл 3).

Таблиця 3.

*Приклад використання рамки біорізноманітно-опосередкованого здоров'я ґрунту*

Table 3.

*Application of the biodiversity-mediated soil health framework*

Етап / Блок РБОЗГ	Опис процесу	Результат	Причинно-наслідковий зв'язок
I. Якість Ґрунту (Конституційні Обмеження)	Вихідна сировина та ліміт: Поле розташоване на ґрунті з високим вмістом глини та природно низькою Катіонообмінною Ємністю (КОЄ). Хімічний аналіз показує, що фосфор (P) присутній у ґрунті, але фізично або хімічно зв'язаний із мінералами, що робить його недоступним для рослин.	Статичний стан: Якість ґрунту (глинистий склад, КОЄ) залишається незмінною. Встановлено максимальний потенціал.	Цей блок визначає, що змінити текстуру або КОЄ неможливо. Рослини не можуть отримати P, незважаючи на його наявність у ґрунті.
Управлінське втручання	Фермер переходить від монокультури до регенеративної практики: запровадження різноманітних покривних культур (злакових та бобових), що створює різні кореневі екsudати.	Дія: Покривні культури живлять широкий спектр біоти, що формує біологічну основу здоров'я.	Управління спрямоване не на зміну ЯГ, а на стимулювання Блоку II.
II. БІОРІЗНОМАНІТТЯ (Функціональний Рушій)	Активіація біоти: Різноманітні кореневі екsudати стимулюють функціональну спеціалізацію ґрунтової біоти. Зокрема, зростає різноманіття мікоризних грибів (наприклад, з 1 виду до 14).	Зростання біотичної ефективності: Завдяки спеціалізації, різні види грибів ефективно "розблоковують" P: одні засвоюють P, зв'язаний з органікою, інші - з мінералами, а ще інші мають довші гіфи для глибшого проникнення. <sup>1</sup>	Біорізноманіття виступає посередником, який перетворює нефункціональний ресурс (зв'язаний P) у функціонально доступний.
III. ЗДОРОВ'Я ҐРУНТУ (Екосистемний Вихід)	Кінцевий результат: Поліпшена робота біологічного рушія (Блок II) призводить до прямого покращення екосистемної послуги — живлення рослин.	Функціональне покращення: Спостерігається 234%-е зростання поглинання фосфору рослинами та підвищення загальної продуктивності рослин на 80%. <sup>1</sup>	Здоров'я ґрунту (урожайність) зросло максимально, оскільки біота (Блок II) максимально використала потенціал (Блок I) ґрунту.

Цей приклад демонструє, що кінцевий результат - здоров'я ґрунту (наприклад, високий урожай) - досягається не зміною успадкованих властивостей ґрунту, а активацією біологічного функціонального рушія.

**Висновки.** Концептуальний аналіз літературних джерел підтвердив методологічну необхідність чіткого розмежування понять «якість ґрунту» та «здоров'я ґрунту». «Якість ґрунту» є статичним поняттям, що описує успадкований потенціал, тоді як «здоров'я ґрунту» є динамічною, функціонально орієнтованою концепцією, яка оцінює актуальний стан ґрунту і його здатність оперативно реагувати на антропогенні заходи та надавати екосистемні послуги. Комплексна оцінка ґрунтів має базуватися на моніторингу динамічних показників здоров'я, які

безпосередньо відображають активність ґрунтового біорізноманіття.

На підставі аналізу емпіричних досліджень встановлено, що біорізноманіття ґрунтової біоти не є лише індикатором стану ґрунту, а виконує роль активного механізму, який трансформує потенційні ресурси, обмежені конституційними властивостями, у фактичні екосистемні послуги. Втрата таксономічного та функціонального різноманіття призводить до кількісного підтвердженого зниження мультифункціональності ґрунту, зокрема ефективності кругообігу поживних речовин, секвестрації вуглецю та продуктивності рослин. Це дозволяє розглядати біорізноманіття як центральний об'єкт управлінського впливу в системах сталого землекористування.

Для оперативного моніторингу стану земель пріоритет має надаватися динамічним

біологічним індикаторам (мікробна біомаса, ферментативна активність, дихання), оскільки вони реагують на антропогенний вплив значно швидше за фізико-хімічні параметри. Стале управління повинно базуватися на підтримці трофічної мережі ґрунту через мінімізацію механічного обробітку, використання покривних культур та внесення органічних добрив, що стимулює виділення корневих ексудатів та формування ризосфери як «другого геному» рослини.

Запропонована рамка біорізноманітно-опосередкованого здоров'я ґрунту (РБОЗГ) переводить теоретичні положення у причинно-наслідкову модель, придатну для практичного застосування.

Модель РБОЗГ інтегрує три функціональні блоки - якість ґрунту, біорізноманіття та здоров'я ґрунту - у єдину структурно-функціональну систему. Вона дозволяє чітко ідентифікувати межі управлінського впливу (неможливість зміни успадкованих властивостей) та водночас визначає біорізноманіття як основний важіль підвищення функціонального стану ґрунту. Таким чином, модель може слугувати теоретичною основою для розроблення інтегральних індексів здоров'я ґрунту, орієнтованих на біологічні показники та

екосистемні результати, а не лише на фізико-хімічні параметри.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну верифікацію та операціоналізацію моделі РБОЗГ. Перспективними напрямками є: – кількісна перевірка причинно-наслідкових зв'язків між біорізноманіттям ґрунту та індексами мультифункціональності в ґрунтах різного генезису; – адаптація рамки РБОЗГ до різних агроекологічних зон і систем землекористування; – інтеграція біологічних показників у мінімальні набори даних (MDS) для розрахунку індексів здоров'я ґрунту; – оцінка довгострокової резилієнтності ґрунтових екосистем у контексті кліматичних змін.

Реалізація цих напрямів дозволить перетворити запропоновану концептуальну модель на універсальний інструмент науково обґрунтованого моніторингу та управління здоров'ям ґрунтів.

**Конфлікт інтересів.** Автор заявляє, що дослідження проводилося за відсутності будь-яких комерційних або фінансових відносин, які можна було б витлумачити як потенційний конфлікт інтересів.

### Список літератури:

1. Міжнародний науковий проект «Глобальна оцінка деградації ґрунтів». Київ, 1990. 137 с.
2. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., ... & 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>
3. Davies, E. (2022). Biological indicators of soil health. *Farming Connect. Business Wales*. <https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/news-and-events/technical-articles/biological-indicators-soil-health>
4. Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1997). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for assessing soil quality*, 49, 25–37. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c2>
5. Eisenhauer, N., Reich, P. B., & Scheu, S. (2012). A multitrophic perspective on plant–soil feedbacks. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(12), 651–656. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.006>
6. Harkes, Paula. (2021). A leap towards unravelling the soil microbiome. [Докторська дисертація, Wageningen University]. 12–14. <https://doi.org/10.18174/501980>
7. Karlen, D. L. et al. (2017). Soil health: a comprehensive review of the concept and its application. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1403–1412. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.02.0076>
8. Kibblewhite, M. G. et al. (2008). Soil biodiversity and ecosystem functioning. *Applied Soil Ecology*, 40(2), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.007>
9. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
10. Mukherjee, A., & Lal, R. (2014). Comparison of soil quality index using three methods. *PloS one*, 9(8), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>
11. Nambudiri, S. (2025, December 11). Researchers develop tech for rapid soil health assessment. *The Times of India*. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/kochi/researchers-develop-tech-for-rapid-soil-health-assessment/articleshow/125875623.cms>
12. Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2014). Rhizosphere: its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13(1), 63–77. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9317-z>
13. Ramirez II, S. (2019). Defining, measuring, and applying soil quality: An unresolved debate (Doctoral dissertation, University of Nebraska–Lincoln). *DigitalCommons@University of Nebraska–Lincoln*. <https://digitalcommons.unl.edu/planthealthdoc/12/>
14. USDA Natural Resources Conservation Service. (2022). Soil respiration (Soil quality physical indicator information sheet). *U.S. Department of Agriculture*.

[https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/soil\\_respiration.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/soil_respiration.pdf)

15. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2015). Soil quality indicators: Physical, chemical, and biological indicators for soil quality assessment and management (Indicator sheet guide sheet). [https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/indicator\\_sheet\\_guide\\_sheet.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/indicator_sheet_guide_sheet.pdf)
16. Van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69–72. <https://doi.org/10.1038/23932>
17. Van Eerd, L., Congreves, K., Arcand, M., Lowly, Y., & Hald, C. (2022, October 26). Здоров'я та управління ґрунтом [Soil health and management]. In *Копання канадських ґрунтів: вступ до ґрунтознавства* (розд. 3.2). LibreTexts. [https://ukrayinska.libretexts.org/.../3.02%3A\\_Здоров'я\\_та\\_управління\\_ґрунтом](https://ukrayinska.libretexts.org/.../3.02%3A_Здоров'я_та_управління_ґрунтом)
18. Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & van der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), 5266–5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
19. Wall, D. H. et al. (2022). Soil biodiversity and 'One Health'. *Nature Ecology & Evolution*, 6(1), 22–32. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01642-1>
8. Kibblewhite, M. G. et al. (2008). Soil biodiversity and ecosystem functioning. *Applied Soil Ecology*, 40(2), 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.007>
9. Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
10. Mukherjee, A., & Lal, R. (2014). Comparison of soil quality index using three methods. *PloS one*, 9(8), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>
11. Nambudiri, S. (2025, December 11). Researchers develop tech for rapid soil health assessment. *The Times of India*. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/kochi/researchers-develop-tech-for-rapid-soil-health-assessment/articleshow/125875623.cms>
12. Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2014). Rhizosphere: its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13(1), 63–77. <https://doi.org/10.1007/s11157-013-9317-z>
13. Ramirez II, S. (2019). Defining, measuring, and applying soil quality: An unresolved debate (Doctoral dissertation, University of Nebraska–Lincoln). *DigitalCommons@University of Nebraska–Lincoln*. <https://digitalcommons.unl.edu/planthealthdoc/12/>
14. USDA Natural Resources Conservation Service. (2022). Soil respiration (Soil quality physical indicator information sheet). *U.S. Department of Agriculture*. [https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/soil\\_respiration.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/soil_respiration.pdf)
15. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2015). Soil quality indicators: Physical, chemical, and biological indicators for soil quality assessment and management (Indicator sheet guide sheet). [https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/indicator\\_sheet\\_guide\\_sheet.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/indicator_sheet_guide_sheet.pdf)
16. Van der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69–72. <https://doi.org/10.1038/23932>
17. Van Eerd, L., Congreves, K., Arcand, M., Lowly, Y., & Hald, C. (2022, October 26). Здоров'я та управління ґрунтом [Soil health and management]. In *Копання канадських ґрунтів: вступ до ґрунтознавства* (розд. 3.2). LibreTexts. [https://ukrayinska.libretexts.org/.../3.02%3A\\_Здоров'я\\_та\\_управління\\_ґрунтом](https://ukrayinska.libretexts.org/.../3.02%3A_Здоров'я_та_управління_ґрунтом)
18. Wagg, C., Bender, S. F., Widmer, F., & van der Heijden, M. G. A. (2014). Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(14), 5266–5270. <https://doi.org/10.1073/pnas.1320054111>
19. Wall, D. H. et al. (2022). Soil biodiversity and 'One Health'. *Nature Ecology & Evolution*, 6(1), 22–32. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01642-1>

## References:

1. International Scientific Project "Global Assessment of Soil Degradation". Kyiv, 1990. 137 p. (in Ukrainian)
2. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., ... & 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>
3. Davies, E. (2022). Biological indicators of soil health. *Farming Connect. Business Wales*. <https://businesswales.gov.wales/farmingconnect/news-and-events/technical-articles/biological-indicators-soil-health>
4. Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1997). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *Methods for assessing soil quality*, 49, 25–37. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c2>
5. Eisenhauer, N., Reich, P. B., & Scheu, S. (2012). A multitrophic perspective on plant–soil feedbacks. *Trends in Ecology & Evolution*, 27(12), 651–656. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.08.006>
6. Harkes, Paula. (2021). A leap towards unravelling the soil microbiome. [Докторська дисертація, Wageningen University]. 12–14. <https://doi.org/10.18174/501980>
7. Karlen, D. L. et al. (2017). Soil health: a comprehensive review of the concept and its application. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1403–1412. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.02.0076>

# BIODIVERSITY AS A FUNCTIONAL BASIS FOR DISTINGUISHING THE CONCEPTS OF "SOIL QUALITY" AND "SOIL HEALTH"

Romaniuk M.I

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University  
Kotsyubynskoho str. 2, Chernivtsi, 58012  
e-mail: [romaniuk.maksym.i@chnu.edu.ua](mailto:romaniuk.maksym.i@chnu.edu.ua)

*This article investigates the terminological confusion within soil science, specifically the frequent and often imprecise exchange of the terms "soil quality" and "soil health." The primary goal is to develop a robust conceptual framework that distinguishes these two categories by their functional roles, highlighting soil biodiversity as the essential driver that converts inherent soil potential into active ecosystem performance.*

*The methodological architecture of this research rests upon a systematic synthesis and critical appraisal of seminal and contemporary literature (1997–2024) concerning soil assessment, biodiversity, and ecosystem services. Utilizing comparative analysis, the study contrasts inherent versus dynamic soil properties; via structural-functional synthesis, it develops an original conceptual model; and through polemical analysis, it identifies current contradictions in biological indication methodologies. The scope encompasses the evolution from classical soil quality paradigms to modern, health-oriented assessment frameworks, with a profound focus on the soil food web's regulatory functions.*

*Research indicates that soil quality is best understood through its permanent, slow-changing characteristics that determine a land's long-term ecological capability. Conversely, soil health is viewed as a fluid condition reflecting the soil's current ability to provide essential services while under human management. The study further highlights soil biodiversity as the central driver of the system, fueling critical processes such as nutrient recycling, carbon storage, and overall environmental resilience.*

*Central to this work is the introduction of the Biodiversity-Mediated Soil Health Framework (BMSHF). This model analytically integrates static constitutional properties (the bedrock of quality), biological drivers (active biodiversity), and dynamic ecosystem outcomes (the manifestations of health). The author advocates for a systemic approach where soil biota is positioned not merely as a diagnostic parameter, but as the foundational "ecosystem engineer" ensuring the system's operational integrity.*

*Ultimately, this study provides a theoretical scaffold for the development of biologically-oriented soil assessment protocols and justifies biodiversity as the focal point for strategic management in sustainable land-use systems.*

*Keywords: soil health, soil quality, biodiversity, BMSHF, constitutional soil properties, soil biota, soil food web.*

*Отримано редколегією 09.11.2025 р.*

## ORCID ID

Maksym Romaniuk: <https://orcid.org/0009-0008-5086-097X>