



УДК 631.46/.47

## ФУНКЦІОНАЛЬНЕ І ПРИКЛАДНЕ ЗНАЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТУ

**М. З. Мекіч, Н. М. Джура, О. І. Терек**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна  
e-mail: Horon.Marta@gmail.com*

Подано огляд наукової інформації про функціональне та прикладне значення біологічної активності ґрунту і процесів, які відбуваються у ньому. Ґрунт є динамічним живим утворенням, від якого залежить продуктивність рослин, якість довкілля, баланс і функції біосфери. Якість ґрунту визначається взаємодією основних компонентів: структури, хімічного складу, біоти. Розглянуто важливість біоти як невід'ємного компонента і сенсора усіх ґрунтових процесів – ґрунтоутворення, інтенсивності дихання, ферментативної активності тощо. Процес ґрунтоутворення і властивості ґрунту залежать від взаємодії абіотичних факторів з живими організмами. Ґрунтове середовище визначає видове різноманіття, чисельність, активність і продуктивність ґрунтової біоти. Екологічний і фітосанітарний стан ґрунтів визначається діяльністю ґрунтових мікроорганізмів – високочутливих індикаторів біологічної активності ґрунту, агентів біорекультивациї. Корені рослин змінюють структуру ґрунту, повітряний режим, беруть участь у розкладі мінералів, є джерелом органіки для мікробіоти. Кореневі виділення рослин специфічно впливають на розвиток мікроорганізмів у ризосферній зоні та її біохімічну активність. Оцінка і розуміння біологічної активності ґрунту є основою для об'єктивного та цілісного відображення якості ґрунту, використання біологічних процесів при проведенні моніторингу і фіторемедіації.

**Ключові слова:** ґрунт, біологічна активність, біологічні процеси.

### ВСТУП

Згідно зі сучасним баченням, ґрунт є критично важливим компонентом біосфери, від котрого залежить як продуктивність рослин, так і підтримання локальної, регіональної та глобальної якості довкілля [21]. Якість ґрунту визначається взаємодією основних компонентів: структури, хімічного складу і біоти ґрунту [44, 51].

Основною властивістю ґрунту є родючість – здатність задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, забезпечувати їх кореневі системи достатньою кількістю повітря, тепла для нормальної життєдіяльності та створення врожаю. Саме це найважливіша якість ґрунту, що відрізняє його від гірської породи, підкреслював В.Р. Вільямс, визначаючи ґрунт як “поверхневий горизонт суші земної кулі, здатний виробляти урожай рослин” [3].

В екології ґрунт розглядають як середовище існування живих організмів. При цьому важливими параметрами є температура, вологість, вміст мінеральних речовин тощо. Ґрунти є необхідними для нормального функціонування екосистем. Стійкість і здатність відновлюватися після порушення є важливими показниками функціонування ґрунту [40].

Біологічні процеси, пов'язані зі структурою та родючістю ґрунту, є потенційно чутливими. Тому сьогодні зростає інтерес до біотичної складової ґрунту – функціонально й анатомічно невід'ємного компонента і сенсора всіх ґрунтових процесів. Більше того, біота розглядається у цілості взаємодій і впливів, тому дає змогу отримати інтегральну оцінку фізичного, хімічного та біологічного стану ґрунту [41, 51].

Виділяють три групи ґрунтових біологічних процесів:

- 1) діяльність ґрунтових мікроорганізмів, які здійснюють глибоке перетворення органічного і частково мінерального складу ґрунту;
- 2) діяльність рослин, що зумовлює кругообіг хімічних елементів у системі "ґрунт-рослина" та накопичення органічної речовини ґрунту;
- 3) діяльність ґрунтових тварин, яка має значний вплив на фізичні та хімічні властивості ґрунту [4, 5].

У зв'язку із різким погіршенням якості ґрунтів спостерігається переоцінка біологічних процесів у концепції якості ґрунту. По-перше, поставлено акцент на важливості біотичної складової ґрунту як індикатора якості та ключового агента у процесах самоочищення, по-друге, домінує холистичний підхід в оцінюванні ґрунтів [51].

Розуміння важливості біотичної складової ґрунту потенційно дасть змогу використовувати біологічні процеси під час проведення моніторингу і рекультивациі ґрунтів.

**Ґрунт як середовище життя.** Ґрунт як середовище характеризується гетерогенністю в усіх вимірюваних масштабах: від нанометрів до кілометрів, які відрізняються за хімічними, фізичними та біологічними властивостями. Ґрунтове середовище визначає видове різноманіття, чисельність, активність і продуктивність біоти. Властивості едафотопу (ґрунту) об'єднують визначальні для біоти фактори – наявність води, поживних речовин, температуру, рН, газовий склад [64].

Основу ґрунту становлять мінеральні частинки, які формують його текстуру і структуру. Текстуру ґрунту визначається розмір пор, які є обмежуючим фактором для поселення різних за розмірами організмів [16]. Структура ґрунту представлена агрегатами, які утворюють зони гетерогенності. Мікрозони у ґрунтових агрегатах контролюють природу та доступність поживних ресурсів, впливаючи на динаміку популяцій. Важливу роль у формуванні макроагрегатів мають гіфи грибів, корені рослин, які виконують укріплюючу та стабілізуючу функції [73]. Хороша структура ґрунту забезпечує вільний рух води, повітря і біоти. Оптимальними з екологічної точки зору є суглинкові та супіщані ґрунти [4].

На поверхні мінеральних частинок акумулюється органічна речовина, яка становить депо елементів живлення [64]. Гумус – найважливіша складова органічної речовини, яка визначає родючість ґрунтів. Склад і динаміка органічної речовини залежить від спрямованості біологічних процесів, зворотно визначає їх інтенсивність [4].

Важливою характеристикою ґрунту є водоутримуюча здатність, яка зростає із часткою "фізичної" глини та органічної речовини. Доступність води у ґрунті впливає на активність біоти. Надмірна зволоженість і висушування пригнічують біологічні процеси [16, 64].

Ґрунтові пори заповнені повітрям, газовий склад якого суттєво відрізняється від атмосферного – концентрація  $\text{CO}_2$  є значно вищою, а  $\text{O}_2$  – нижчою, ніж в атмосфері.

Склад ґрунтового повітря впливає на перебіг аеробних і анаеробних процесів. Специфічною складовою ґрунтового повітря є також кореневі виділення рослин, які можуть мати алелопатичні ефекти. Рухова активність фауни, розростання коренів рослин сприяють аерації ґрунту [6].

Тепловий режим ґрунтів характеризується більш згладженим коливанням температур протягом доби та сезону, ніж в атмосфері [6]. Згідно зі законом Ареніуса, підвищення температури пришвидшує перебіг хімічних реакцій. Ця закономірність спостерігається і для біологічних процесів, проте обмежується верхнім порогом інактивації ферменту. Зростання біологічної активності при вищих температурах у ґрунті пов'язано також зі змінами мікробіологічного угруповання [64].

Кислотність визначає умови перебігу ґрунтових реакцій, впливаючи на розчинність та іонізацію сполук, що, у свою чергу, змінює ензиматичну активність біоти [64]. Первинним джерелом кислотності будь-якого ґрунту є йони гідрогену карбонної та органічних кислот, які утворюються при розкладі органічних залишків і виділяються коренями рослин. Висока або низька кислотність ґрунтів лімітує нормальний розвиток ґрунтових організмів [4, 8].

Процес ґрунтоутворення та властивості ґрунту залежать від взаємодії абіотичних факторів із живими організмами. Материнська порода є матеріалом, з якого клімат, рельєф і біота творять ґрунт. В. Вернадський довів, що живі організми відіграють дуже важливу роль у геологічних процесах, які формують обличчя Землі. Це одна із властивостей живої речовини: змінювати середовище і пристосовуватися до нього [2]. Таким чином мінеральна інертна речовина переробляється життям, перетворюється на нову якість. Тому при аналізі завжди потрібно враховувати взаємозалежність властивостей ґрунту і біоти [6]. Отже, роль факторів, які регулюють склад і активність біоти, варіює для різних ґрунтів і проявляється лише у взаємодії. З огляду на це, важливо, щоб дослідження біоти супроводжувалися характеристикою хімічних і фізичних властивостей ґрунтового середовища [16].

**Біотична складова ґрунту.** У відсотковому співвідношенні жива речовина ґрунту становить 0,5–1% від його маси. Проте оцінка та значення біорізноманіття ґрунтового середовища ще далекі до істини. Припускають, що більшість організмів на Землі можуть жити у ґрунті [70]. Чисельність і різноманіття біоти залежать від особливостей ґрунту. Більшість його мешканців непомітні для людського ока. Ґрунт має просторову гетерогенність, утворюючи "гарячі точки" життя. Ця ж особливість зумовлює високе біорізноманіття, створюючи умови для розвитку видів із різними потребами, а також просторове розмежування конкурентних видів [25]. У ґрунті одночасно розвиваються анаероби і аероби, різні групи мікроорганізмів по відношенню до кислотності: ацидофіли, нейтрофіли, алкалофіли. Кожна група організмів знаходить сприятливі умови для розвитку в певній мікрзоні зі специфічним газовим складом, водним режимом тощо [6].

Важливість біоти ґрунту впливає із широкого спектра вивчення її функцій. Існує думка, що вивчення функціональної структури ґрунту важливіше за біорізноманіття [55]. Слід відзначити, що немає чіткого розмежування між функціональною спеціалізацією груп організмів. Частіше вони утворюють мозаїку, де кожен наступний доповнює попереднього. Цей факт є підтвердженням цілісності у функціонуванні ґрунтової екосистеми. Розклад рослинних і тваринних решток, вивільнення та зв'язування елементів живлення є спеціалізацією мікроорганізмів. Біомаса рослин виступає першоджерелом органічної речовини. Тварини як консументи впливають на структуру популяції біоти, її активність і чисельність [16, 62].

Крім функціонального навантаження, біота як компонент ґрунту є чутливим сенсором, що відображає стан екосистеми. Швидка реакція ґрунтової біоти є індикатором якості ґрунту, наслідком змін фізико-хімічних і механічних параметрів, основою для біологічної оцінки. Біологічні індикатори не є універсальними. Вони зазнають сезонної динаміки, залежать від типу ґрунту, кліматичної зони тощо. Тому кожна місцевість характеризується індивідуальною біологічною активністю [16, 63].

Найчисленнішою і найрізноманітнішою є **мікрофлора ґрунту**, до складу якої входять дві основні групи: *бактерії* та *гриби*, які продукують позаклітинні ферменти і беруть участь у розкладанні органічних речовин. Близько 80–90% первинної продукції, яка надходить у ґрунт у вигляді відмерлих рослин, в основному розкладається мікрофлорою [16]. Ця функція забезпечує кругообіг речовин, мінеральне живлення рослин, руйнування ксенобіотиків, очищення та відновлення ґрунтової екосистеми. Частина організмів може вступати у паразитичні або мутуалістичні взаємовідносини. Бактерії ризосфери належать до промоторів росту рослин, забезпечуючи не лише мінеральне живлення, а й антагоністичне пригнічення фітопатогенів [44].

При вивченні біологічних процесів у ґрунті слід пам'ятати про тісні взаємозв'язки між організмами. Зміна активності популяції одного виду впливає на активність іншого. Прикладом можуть служити дві функціональні групи мікроорганізмів: целюлозоруйнуючі й азотфіксатори. Вільноживучі азотфіксатори забезпечені Нітрогеном, але потребують джерела Карбону. Тоді як целюлозоруйнуючі бактерії, навпаки, отримують С із розкладеної органічної речовини, але залежні від зовнішнього постачання N. Дослідниками підтверджено симбіотичну взаємодію цих груп організмів у польових умовах. Так, у ґрунті зі стернею, яка є субстратом для целюлозної мікробіологічної активності, спостерігали вищу нітрогеназну активність, ніж зі спаленими залишками урожаю [58]. Таким чином, для оптимального функціонування ґрунтової, як і будь-якої, екосистеми необхідне збереження взаємозв'язків.

Розглядаючи участь мікроорганізмів у кругообігу елементів живлення, найбільшу увагу звертають на Нітроген. У ґрунті цей елемент часто виступає лімітуючим фактором розвитку рослин. Нітрифікація забезпечується високоспеціалізованими групами бактерій, які дуже чутливі до змін у довкіллі, та до наявності токсичних сполук. Тому оцінка потенційної нітрифікаційної активності мікробіоти дає розуміння якості ґрунту [49]. Мікроорганізми розкладають величезну кількість сполук і беруть участь у процесах самоочищення ґрунтових екосистем. Ця функція є особливо важливою в умовах забруднення ґрунту ксенобіотиками. Відомо, що мікроорганізми здатні розкласти пестициди, вуглеводні, включати у свій метаболізм важкі метали. Мікроорганізми взаємодіють з металами за допомогою різних механізмів, які можуть бути використані як основа для біоремедіації – біосорбція, біовимивання, біомінералізація, внутрішньоклітинна акумуляція тощо [45]. Встановлено, що специфічні групи мікроорганізмів є домінуючими при забрудненні ґрунтів, що свідчить про їхню толерантність до конкретних умов і здатність використовувати полютант як джерело енергії [73].

Сучасні технології дають змогу отримати більш точну оцінку мікробіологічного різноманіття, склад і динаміку мікробних угруповань ґрунту. Широке застосування має визначення ДНК і РНК профілю та фосфоліпідних жирних кислот (ФЖК), які дають змогу зафіксувати мікроорганізми, незалежно від їх культурабельності. Ці параметри є чутливими до стресових факторів. Так, зміни у зразках ФЖК були зафіксовані при різних рівнях забруднення ґрунтів металами та пестицидами [49].

В умовах органічного забруднення, зокрема нафтового, мікробіота виступає основним деструктором вуглеводнів. При цьому відбуваються дві протилежні реакції:

зниження чисельності мікроорганізмів як наслідок токсичної дії забруднювача, що відповідає періодові стресу, після чого настає період адаптації зі зростанням активності вуглеводнеокислюючих бактерій. Проте це угруповання набуває нестійкого характеру, наближаючись за своїм кількісним і якісним складом до фонового мікробіоценозу в процесі розкладання нафти [9, 13, 46]. Зміни чисельності бактерій є індикатором стимуляції процесів розкладу нафтопродуктів. Із нафтозабруднених ґрунтів були виділені штами *Pseudomonas* sp., *Arthrobacter* sp., *Mycobacterium* sp., у разі забруднення поліароматичними вуглеводнями – *Paraccoccus* sp. [73].

Для пришвидшення процесів мікробіологічної активності практичне застосування має біостимуляція – внесення у середовище елементів живлення для оптимізації функціонування біоти. Доведено, що внесення нітрогену та фосфору в нафтозабруднені ґрунти призводить до збільшення чисельності мікроорганізмів і пришвидшення розкладу забруднювача. Поширеною практикою під час проведення рекультивациі є інокуляція стійких штамів мікроорганізмів, що дає змогу суттєво підвищити рівні біологічної активності [47, 57].

У багатьох екосистемах численними редуцентами є гриби – харчова сировина для консументів вищих трофічних рівнів. Гіфи грибів підвищують стабільність структури ґрунту, пронизуючи субстрат, вони розмножуються всередині та між мертвими клітинами рослин. Гриби продукують ряд ферментів, які можуть розкласти складні компоненти клітинних стінок, такі як лігнін, і більш лабільні сполуки, які є всередині клітини. Ще одною перевагою грибів перед бактеріями є здатність транспортувати поживні речовини по мережі гіфів до зон активності [17]. Показано ремедіаційний потенціал мікофлори ґрунту до забруднення. Зокрема, нитчастий актиноміцет *Podospora anserina* здатен розкласти ароматичні аміни, похідні від пестицидів, тоді як багато інших видів гине [23].

Отже, екологічний та фітосанітарний стан ґрунтів визначається діяльністю ґрунтових мікроорганізмів – високочутливих індикаторів, показників біологічної активності ґрунту, агентів біорекультивациі.

Численними дослідженнями показано, що **рослини** впливають на життєдіяльність інших живих організмів ґрунту: корені рослин змінюють структуру ґрунту, повітряний режим, беруть участь у розкладі мінералів, є джерелом органіки для мікробіоти. Між мікрофлорою та рослинами постійно відбуваються взаємовигідні біотичні зв'язки, які відображаються на зростанні чисельності основних фізіологічних груп мікроорганізмів у ризосферній зоні. Кореневі виділення рослин специфічно впливають як на розвиток мікроорганізмів кореневої зони, так і на біохімічну активність ґрунту [6, 27, 29, 32]. Частка корневих виділень рослин від загальної кількості синтезованих речовин оцінюється у 20–30%, в окремих випадках до 50%. Такий “викид” з екологічної точки зору цілком доречний, оскільки будь-які організми існують у взаємодії, яка передбачає обмін метаболітами [6].

Явище ризосферного ефекту лежить в основі фіторемедіациі ґрунтів. Збільшення деградації або мінералізації в ризосфері було показано для ряду пестицидів, поліароматичних вуглеводнів, нафти, сурфактантів [12]. Часто кореневі виділення рослин виступають лімітуючим фактором розкладу забруднювачів. Наприклад, катехіни та кумарини необхідні як кометаболіти при утилізації бактеріями поліхлорованих біфенолів [60].

Є різні думки щодо впливу видового різноманіття рослин на біологічні властивості ґрунту: теоретично – збільшення видового різноманіття сприяє збагаченню ґрунту необхідними органічними речовинами, проте дослідженнями показано, що

специфічність виду рослин є важливішою, ніж різноманітність [16]. Показано, що поліфеноли тополі (*Populus balsamifera*) пригнічують розвиток нітрифікуючих бактерій, впливають на динаміку кругообігу N [14]. Актиноміцети з'являються у нафтозабрудненому ґрунті лише у ризосферній зоні рослин *Charex hirta*, що свідчить як про оптимізацію умов розвитку для грибів, так і про пришвидшення розкладу нафти рослинами [1]. Встановлено зменшення вмісту вуглеводнів нафти у ґрунті на 47% після вегетації *Vicia faba* L. [20], акумуляцію Cd і Zn у листках *Populus tremula* [35]. Отже, ремедіаційний потенціал рослин зумовлений їхньою здатністю акумулювати полютанти, включати їх у метаболізм.

У всіх типах ґрунтів наявні водорості. Виконуючи роль первинних продуцентів, ґрунтові водорості часто є піонерами не лише природних материнських порід, а й антропогенно змінених ландшафтів. З часом формується специфічне альгогрупування для певного ґрунту [6].

**Фауна ґрунту** представлена величезним різноманіттям життєвих форм, просторової організації, харчових ланцюгів тощо. Виділяють мікро-, мезо- та мегафауну ґрунту. Серед величезного таксономічного різноманіття мікрофауни найчисленнішими є найпростіші та нематоди, мезофауни – мікроартроподи (коловертки, кліщі, олігохети), серед макрофауни – дощові черв'яки, терміти, мурахи [16].

Ґрунтові тварини по-різному реагують на абіотичні фактори, проявляють різну толерантність до ґрунтової вологи, доступу їжі, посухи тощо [19, 61].

Однією з ознак родючості ґрунту є наявність дощових черв'яків – біодіагностичного показника органічної речовини ґрунту і розвитку агроєкосистеми. Дощові черв'яки покращують структуру ґрунту, його хімічні, фізичні та біологічні властивості, тим самим оптимізуючи процеси мікробіологічної активності [11, 44].

Висока чисельність, короткий життєвий цикл, постійний контакт із ґрунтом через рухову і харчову активність вказують на можливість використання ґрунтових безхребетних для індикації токсичності ґрунтового середовища [30, 36].

Ґрунтовим мікроорганізмам належить головна роль у мінералізації та розкладі органіки, проте тварини через взаємозв'язки із мікрофлорою здатні впливати на ці процеси трьома основними шляхами: 1) через вибіркове живлення мікроорганізмами, що змінює мікробіологічну активність, чисельність і структуру угруповання; 2) через подрібнення і змішування органіки, тим самим впливаючи на її доступність для мікродеструкторів; 3) найпростіші впливають на ріст рослин, зокрема морфологію кореня. Усі ці взаємодії між ґрунтовою біотою впливають як на ріст і розвиток рослин, так і на біологічні процеси у ґрунті [16, 65].

**Біологічна активність ґрунту.** Біологічна активність ґрунту – це сукупність біологічних процесів, які відбуваються у ґрунті внаслідок функціональної активності ґрунтової біоти: інтенсивність дихання, ступінь виділення теплової енергії організмами, ферментативна активність тощо. Визначення біологічної активності ґрунту часто використовується для інтерпретації інтенсивності метаболізму мікроорганізмів [47, 53, 62]. Підвищити біологічну активність ґрунту можна внесенням органічних і бактеріальних добрив, використанням сидератів, правильних сівозмін, а також застосуванням меліорантів (вапна, гіпсу) для підтримання сприятливих фізико-хімічних властивостей ґрунту, заходів, які покращують водний, окисно-відновний і тепловий режими [54].

Мікробіологічна активність включає метаболічні процеси і реакції, які відбуваються у ґрунті за участю мікрофлори і мікрофауни [50]. До основних показників мікробіологічної активності належать ґрунтове “дихання” і ферментативна активність,

чисельність і біомаса мікроорганізмів. Ґрунтове “дихання” відображає суму всіх метаболічних процесів, які продукують  $\text{CO}_2$  як результат фіксації  $\text{O}_2$  [45]. Зниження рівня ґрунтового дихання може вказувати на те, що ґрунтові умови, такі як температура, вологість, аерація, доступні форми N, лімітують біологічну активність і розклад органічної речовини. Обмежуючим фактором може виступати концентрація органічної речовини або ж токсична дія забруднювачів на живі організми [52].

Ґрунтове “дихання” є важливим компонентом концепції якості ґрунту і включається у програми моніторингу [66]. Встановлено, що біологічна активність змінюється для окультурених ґрунтів. Так традиційне сільське господарство призводить до зниження виділення  $\text{CO}_2$ , що обумовлено порушенням збалансованості біохімічних і мікробіологічних процесів при нераціональному застосуванні різних агрозаходів. Позитивний вплив на якість ґрунту й інтенсивність дихання має застосування сівозміни, внесення органо-мінеральних добрив тощо [9, 10, 62].

Зміна рівня емісії  $\text{CO}_2$  ґрунтом може відображати реакцію мікробіоти на забруднення. Так, показано суттєве зростання продукції  $\text{CO}_2$  у забруднених нафтою ґрунтах порівняно з контролем. Концентрація залишкових вуглеводнів нафти позитивно корелювала із ґрунтовим “диханням” і масою органічного вуглецю (субстрат-стимульоване дихання) [47]. Відомо, що при забрудненні дизельним паливом (10 г/кг) кількість виділеного  $\text{CO}_2$  постійно зростала протягом 3-х місяців після внесення у ґрунт [57], тоді як забруднення ґрунту важкими металами суттєво знижує інтенсивність “дихання”. Під час аналізу прилеглих до автошляхів ґрунтів “дихання” ґрунту поступово відновлювалося на відстані 5, 25 і 45 м від узбіччя, тимчасом як концентрація важких металів зменшувалася [33].

Більшість мікробіологічних методів характеризують чисельність/біомасу мікроорганізмів або їх активність. Проте в окремих випадках, наприклад, кількість АТФ у ґрунті, характеризує обидва аспекти. Сума АМФ, АДФ і АТФ визначає енергетичний заряд клітини і тісно пов’язана з біомасою мікроорганізмів. Встановлено, що між енергетичним станом організму (вміст АТФ) та біомасою мікроорганізмів є позитивна кореляція [38]. Показано чутливість енергетичного заряду клітин як реакції організмів на зміни в середовищі [62]. АТФ синтезується усіма живими організмами і швидко піддається деградації в неживих клітинах. Визначення вмісту цієї сполуки є важливим параметром мікробіологічної активності ґрунту [24].

**Ферменти як основні агенти біологічних процесів.** Якщо говорити про феномен життя, то однією з ознак є швидкий перебіг біохімічних процесів за участю ферментів. У функціонуванні ґрунтових екосистем ферменти відіграють надзвичайно важливу роль. Завдяки біокаталітичним процесам, ґрунти здійснюють найважливіші біогеоценологічні функції: гумусово-енергетичні, трофічні, санітарно-відновлювальні тощо. Показано, що активність ґрунтових ферментів може виступати додатковим діагностичним показником родючості ґрунту [10], чутливим індикатором для оцінки рівня деградації ґрунту у природних екосистемах [28, 68].

Ферментативний потенціал ґрунтів залежить від життєдіяльності ґрунтової біоти, складу мікробіологічних угруповань, тому будь-які зміни мікробіоценозу відображаються на ферментативній активності [40, 71].

Одним із важливих ферментів класу оксидоредуктаз є *каталаза*. Каталазна активність (КА) пов’язана з розкладом токсичного для живих організмів перекису водню. Висока КА забезпечує підтримання необхідного рівня кисню у ґрунтовому повітрі, що необхідно для ефективного функціонування мікрофлори. Позитивний вплив рослин *C. hirta* L. на біологічні процеси нафтозабруднених ґрунтів підтвер-

джено зростанням рівня КА ґрунту після 3-х місяців фіторекультиваци [7]. Пригнічення активності даного ферменту відповідає токсичному впливу нафтопродуктів і їх метаболітів на мікрофлору, а поступове зниження – зменшенню концентрації біодоступних вуглеводнів [72].

З ферментів класу гідролаз найбільш адекватним показником, який відображає каталіз гідролітичного розкладу вуглецевмісних речовин ароматичного ряду з перетворенням їх на гумусні сполуки, є *інвертаза*. На рівень каталазної та інвертазної активності особливо негативно впливає тривале вирощування агрокультур [9].

Фермент, який бере участь у розкладі целюлози –  $\beta$ -*глюкозидаза*. Її активність тісно пов'язана із присутністю вуглецевих сполук. Встановлено зниження її активності при забрудненні ґрунту дизельним паливом [57].

Активність *дегідрогенази* часто використовується для оцінки стану ґрунтової мікробіоти, на яку негативно впливають токсичні сполуки [57]. Показники дегідрогеназної активності (ДА) використовують для екоотоксикологічної оцінки ґрунтів, забруднених важкими металами, поліциклічними ароматичними вуглеводнями тощо [59]. Показано чутливість ДА до органічної речовини ґрунту й кореневих виділень рослин і можливість застосування даного показника для оцінки впливу землеробства на стан мікрофлори [17].

Однак погляди науковців щодо використання ферментативної активності (ФА) як чутливого індикатора функціонування ґрунту залишаються дискусійними [50]. Не встановлено прямих причинно-наслідкових зв'язків між змінами у ґрунті за дії фактора та ФА. Ензиматична оцінка відображає потенційну активність, а не актуальну *in situ*, тому повинна розглядатися у вигляді індексу. Одним із головних обмежень в інтерпретації властивостей ґрунту, включаючи ФА, є неможливість узагальнити результати, отримані для різних типів ґрунтів [28].

По-різному змінюється внутрішньоклітинний та екзогенний ферментний пул у відповідь на деструктивні зміни в екосистемі. Якщо перша складова швидко реагує на зміни і відображає активність біоти, то друга є результатом акумуляції ферментів ґрунтовим комплексом і становить 40–60% від загальної ФА ґрунту. Позаклітинні ферменти відображають кумулятивний ефект тривалої життєдіяльності мікрофлори, тому погано корелюють із активністю мікроорганізмів, їх біомасою [39, 52]. Таким чином, у разі інтерпретації результатів ферментативної активності ґрунту необхідний комплексний підхід, який би враховував властивості ґрунту, його екогеографічну оцінку з іншими параметрами біологічної активності.

## ВИСНОВКИ

Біота є невід'ємною складовою ґрунту, ключовою у формуванні властивостей едафотопу. Оцінка та розуміння біологічних процесів є основою для об'єктивного та цілісного відображення якості ґрунту, прикладного використання їх в індикації та рекультиваци земель. Реакції живих організмів – інформативні показники стану і чутливі сенсори непорушених, забруднених чи рекультивованих ґрунтів. Біологічні процеси визначають інтенсивність самоочищення ґрунту, є основою для біоремедіації, характеризують цілісність відновлення екосистеми, ефективність і безпечність її для довкілля.

1. Буньо Л.В., Цвілинюк О.М., Микієвич І.М. та ін. Активність мікрофлори нафтозабрудненого ґрунту у ризосферній зоні рослин *Carex hirta* L. **Біологічні Студії**, 2010; 4(3): 55–62.
2. Вернадский В.І. **Биосфера**. Ленинград: Научное химико-технологическое издательство, 1926. 146 с.



3. *Вильямс В.Р. Избранные сочинения. Т. 1. Работы по почвоведению (1898–1931)* / ред. В.П. Бушинский. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1950.
4. *Горбань В. А.* Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей. **Ґрунтознавство**. 2008; 9(1–2): 124–127.
5. *Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв*. Москва: Изд-во Моск. ун-та; Наука, 2006. 364 с.
6. *Звягинцев Д.И., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв: учебник*. Москва: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
7. *Мекіч М., Карпин О., Цвілинюк О.* та ін. Каталазна активність нафтозабруднених ґрунтів у процесі фіторекультивациі. **Молодь та поступ біології**: збірник тез ІХ Міжнар. наук. конф. студентів і аспірантів. Львів, 2013: 214–215.
8. *Роде А.А. Толковый словарь по почвоведению. Физика почв*. Москва: Наука, 1972. 63 с.
9. *Руденко Е.Ю.* Влияние отработанного кизельгура на нефтезагрязненную черноземную почву. **Известия Самарск. науч. центра РАН**, 2012; 14(5): 257–260.
10. *Симочко Л.Ю.* Біологічна активність ґрунту природних та антропогенних екосистем в умовах низинної частини Закарпаття. **Наук. Вісник Ужгород. ун-ту.** (Сер. Біол.), 2008; 22: 152–154.
11. *Трембіцька О.І.* Біологічна активність ґрунту в залежності від систем добрив в короткочасній сівозміні. **Вісник ЖНАЕУ**. [Electronic resource] – Available from: [http://www.znau.edu.ua/visnik/2011\\_1\\_1/441.pdf](http://www.znau.edu.ua/visnik/2011_1_1/441.pdf)
12. *Anderson T.A., Guthrie E.A., Walton B.T.* Bioremediation in the rhizosphere. **Environmental Science and Technology**, 1993; 27: 2630–2636.
13. *Bahrampour T., Moghanlo V.* Evaluation of soil biological activity after soil contaminating by crude oil. **International Journal of Agriculture: Research and Review**, 2012; 2(6): 671–679.
14. *Baldwin I.T., Olson R.K., Reiners W.A.* Protein binding phenolics and the inhibition of nitrification in subalpine balsam fir soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 1983; 15: 419–423.
15. *Baran S., Bielińska J., Oleszczuk P.* Enzymatic activity in an airfield soil polluted with polycyclic aromatic hydrocarbons. **Geoderma**, 2004; 118: 221–232.
16. *Bardgett R. D. The biology of soil. A community and ecosystem approach*. Oxford University Press, 2005. 242 p.
17. *Beyer L., Wachendorf C., Elsner D., Knabe R.* Suitability of dehydrogenase activity assay an index of soil biological activity. **Biol. Fertil. Soils**, 1993; 16: 52–56.
18. *Boddy L.* Saprotrophic cord-forming fungi: meeting the challenge of heterogeneous environments. **Mycologia**, 1991; 91: 13–32.
19. *Bongers T., Bongers M.* Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, 1998; 10: 239–251.
20. *Diab E.* Phytoremediation of oil contaminated desert soil using the rhizosphere effects. **Global Journal of Environmental Research**, 2008; 2(2): 66–73.
21. *Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.* Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, 1996, 56: 1–54.
22. *Dorana J.W., Zeiss M.R.* Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 2000; 15: 3–11.
23. *Dupret J.M., Dairou J., Busi F.* et al. Pesticide-Derived Aromatic Amines and Their Biotransformation. In: Stoytcheva M. (Ed.) **Pesticides in the Modern World – Pests Control and Pesticides Exposure and Toxicity Assessment**, 2011: 601–614.
24. *Eiland F.* Determination of adenosine triphosphate (ATP) and adenylate energy charge (AEC) in soil and use of adenine nucleotides as measures of soil microbial biomass and activity, **Danish J. Pl. Soil Sci.** 1985; 1777: 1–193.
25. *Ettema C., Wardle D.* Spatial soil ecology. **Trends in Ecology & Evolution**, 2002; 17(4): 177–183
26. *Fontanetti C., Nogarol L., Bastao de Souza R.* et al. **Bioindicators and biomarkers in the assessment of soil toxicity, soil contamination**, 2011. [Electronic resource] – Available from: <http://www.intechopen.com/books/soil-contamination/bioindicators-and-biomarkers-in-the-assessment-of-soil-toxicity>
27. *Gerhardt K., Huang X., Glick B., Greenberg B.* Phytoremediation and rhizoremediation of organic soil contaminants: Potential and challenges. **Plant Science**, 2009; 176(1): 20–30.

28. Gianfreda L., Raza M., Piotrowska A. et al. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. **Science of the Total Environment**, 2005; 341: 265–279.
29. Glick B.R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. **Biotechnology Advances**, 2003, 21: 239–244.
30. Gräff S., Berkus M., Alberti G. et al. Metal accumulation strategies in saprophagous and phytophagous soil invertebrates: a quantitative comparison. **BioMetals**, 1997; 10: 45–53.
31. Gray T.R., Williams S.T. **Soil microorganisms**. London, 1987. 550 p.
32. Greenberg B.M. Development and field tests of a multi-process phytoremediation system for decontamination of soils. **Canadian Reclamation**, 2006; 1: 27–29.
33. Gülser F., Erdoğan E. The effects of heavy metal pollution on enzyme activities and basal soil respiration of roadside soils. **Environ Monit Assess**, 2008; 145(1–3): 127–133.
34. Harwood C.S., Greenberg E.P. Mega roles of microorganisms. **Science**, 1999. 286(5442): 1096.
35. Hassinen V., Vallinkoski V.M., Issakainen S. et al. Correlation of foliar MT2b expression with Cd and Zn concentrations in hybrid aspen (*Populus tremula* x *tremuloides*) grown in contaminated soil. **Environmental Pollution**, 2009; 157: 922–930.
36. Hopkin S.P., Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. **Applied Science**, London: Elsevier, 1989: 366 p.
37. Huang X.D., El-Alawi Y.S., Penrose D. et al. A multiprocess phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. **Environmental Pollution**, 2004; 130: 465–476.
38. Jenkinson D.S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. In: Wilson JR (ed) **Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems**. CAB, Wallingford, 1988. 368–386.
39. Karaca A., Cetin S., Turgay O., Kizilkaya R. Soil enzymes as indication of soil quality. **Soil Enzymology**, Springer 2011; 22: 119–148.
40. Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 1997; 61: 4–10.
41. Keddy C.J., Greene J.C., Bonnell M.A. Review of whole organism bioassays: Soil, freshwater sediment and freshwater assessment in Canada. **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, 1995; 30: 251.
42. Kennedy A.C., Gewin V.L. Soil microbial diversity: Present and future considerations. **Soil Sci**, 1997; 162:(9): 607–617.
43. Kiss S., Pasca D., Dragan-Bularda M. **Enzymology of disturbed soils**. Amsterdam: Elsevier, 1998. 351 p.
44. Linderman R. Working with Soil Microbiology. **Plant Health**; [Electronic resource] – Available from: <http://www.pnva.org/files/files/WorkingwithSoilMicrobiology.pdf>
45. Lloyd J.R., Anderson R.T., Macaskie L.E. Bioremediation of metals and radionuclides. In: **Bioremediation: Applied microbial solutions for real world environmental cleanup**. Atlas, R.M and Philp, J.C (eds). ASM Press, Washington, D.C. 2005. 294 p.
46. Maila M.P., Cloete T.E. The use of biological activities to monitor the removal of fuel contaminants – perspective for monitoring hydrocarbon contamination: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 2005; 55: 1–8.
47. Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F. Monitoring of bioremediation by soil biological activities. **Chemosphere**, 2000; 40: 339–346.
48. Meharga A.A., Cairney J.W.G. Ectomycorrhizas – extending the capabilities of rhizosphere remediation. **Soil Biology & Biochemistry**, 2000; 32: 1475–1484.
49. **Microbiological methods for assessing soil quality**. In: Bloem J., Hopkins D.W., Benedetti A. (Ed.) Wallingford: CABI Publishing, 2005: 307 p.
50. Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B. Ecological significance of the biological activity in soil. In: **Soil Biochemistry**, 1990; 6: 293–355.
51. Pankhurst C., Doube B., Gupta V. Biological indicators of soil health. New York: **CAB International**, 1997. 28 p.
52. Parkin T.B., Doran J.W., Franco-Vizcaino E. Field and laboratory tests of soil respiration. **Methods for assessing soil quality**. Madison, WI., 1996: 231–245.
53. Pattison T. What is a healthy soil? **Industries and Fisheries**, South Johnstone Resear Station, 2006; [Electronic resource] – Available from: [http://www.daff.qld.gov.au/26\\_12819.htm](http://www.daff.qld.gov.au/26_12819.htm)

54. *Piterson A., Greman D.* Biological activity of soil. International Symposium “**Structure and Function of Soil Microbiota**”, 2005: 235–236.
55. *Rai M.K., Varma A.* **Diversity and biotechnology of ectomycorrhizae**. Springer, 2011. 459 p.
56. *Reddy K.R.*, Technical challenges to in-situ remediation of polluted sites. **Geotechnical and Geological Engineering Journal**, 2010; 28(3): 211–221.
57. *Riffaldi R., Levi-minzi R., Cardelli R.* et al. Soil biological activities in monitoring the bioremediation of diesel oil-contaminated soil. **Water, Air, and Soil Pollution**, 2006; 170: 3–15.
58. *Roper M. M.* Field measurements of nitrogenase activity in soils amended with wheat straw. **Aust. J. Agric. Res.**, 1983; 34: 725–739.
59. *Rossel D., Tarradellas J., Bitton G., Morel J.* Use of enzymes in soil ecotoxicology: a case for dehydrogenase and hydrolytic enzymes. In: Tarradellas J., Bitton G., Rossel D. editors. **Soil Ecotoxicology**. Boca Raton, FL: Lewis Publ., CRC Press; 1997: 179–206.
60. *Salt D.A., Smith R.D., Raskin I.* Phytoremediation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 1998; 49: 643–668.
61. *Scheu S., Schultz E.* Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. **Biological Conservation** 1996; 5: 235–250.
62. *Schinner F., Ohliger R., Kandeler E., Margesin R.* **Methods in Soil Biology**. London, Springer 1996. 426 p.
63. *Shukla G., Varma A.* **Soil Enzymology**. Springer, 2011. 384 p.
64. **Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry** / ed. by E.A. Paul. USA: Academic Press, 2007. 514 p.
65. *Stephens R.D., Petreas M.X., Hayward D.G.* Biotransfer and bioaccumulation of dioxins and furans from soil: chickens as a model for foraging animals. **The Science of the Total Environment**, 1995 175: 253–273.
66. *Torstensson M., Pell M., Stenberg B.* Need of strategy for evaluation of soil quality data: arable soil. **Ambio**, 1998; 27: 4–8.
67. *Torsvik V., Sorheim R., Goksoyr J.* Total bacterial diversity in soil and sediment communities – a review. **Journal of Industrial Microbiology**, 1996; 17: 170–178.
68. *van Beelen P.V., Doelman P.* Significance and application of microbial toxicity tests in assessing ecotoxicological risks of contaminants in soil and sediment. **Chemosphere**, 1997; 34: 455–499.
69. *Walworth J.L., Reynolds C.M.*, Bioremediation of a petroleum contaminated soil: effects of phosphorus, nitrogen and temperature. **Journal of Soil Contamination**, 1995; 4(3): 299–310.
70. *Wardle D.A., Bardgett R. D., Klironomos J. N.* et al. Ecological Linkages Between Aboveground and Belowground Biota. **Science**, 2004; 304: 1629–1633.
71. *Wyszkowska J., Kucharski J., Waldowska E.* The influence of diesel oil contamination on soil enzymes activity. **Rostlinná Výroba**, 2002; 48: 58–62.
72. *Xin Lin, Xiao Jun, Sun Peiju T.* et al. Changes in Microbial Populations and Enzyme Activities During the Bioremediation of Oil-Contaminated Soil. **Bull. Environ. Contam. Toxicol**, 2009; 83: 542–547.
73. *Ying T., Yongming L., Mingming S.* et al. Effect of bioaugmentation by *Paracoccus* sp. strain HPD-2 on the soil microbial community and removal of polycyclic aromatic hydrocarbon from aged contaminated soil. **Bioresource Technology**, 2010; 101: 3437–3443.

---

## FUNCTIONAL AND APPLIED SIGNIFICANCE OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL

**M. Z. Mekich, N. M. Dzhura, O. I. Terek**

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskyyi St., Lviv 79005, Ukraine  
e-mail: Horon.Marta@gmail.com*

This article provides an overview of scientific information on functional and applied value of soil biological activity and soil processes. Soil is a dynamic alive creation, plant productivity, environmental quality, balance and function of the biosphere depend on it.

Soil quality is determined by interactions of main components: structure, chemical composition, biota. Significance of biota as inherent component and sensor for all soil processes including soil-forming, respiration intensity, enzyme activity are considered. Soil-forming process and soil properties depend on abiotic and biotic interactions. Soil environment determines species variety, quantity, activity and productivity of soil biota. Ecological and phytosanitary soil state is determined by activity of soil microorganisms, which are highly sensitive indicators of soil biological activity, and bioremediation agents. The roots of plants transform soil structure, air mode, and they are involved in mineral decomposition, as a source of organic matter for microbiota. Root exudates specifically affect microorganisms development in rhizosphere and their biochemical activity. Evaluation and understanding of soil biological activity is fundamental for objective and integral representing of soil quality, using biological processes of monitoring and phytoremediation.

**Keywords:** soil biological processes, biological activity of soil.

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

**М. З. Мекіч, Н. М. Джура, О. І. Терек**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко*

*ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина*

*e-mail: Horon.Marta@gmail.com*

Представлен обзор научной информации о функциональном и прикладном значении биологической активности почвы и процессов, происходящих в ней. Почва является динамичным живым образованием, от которого зависит продуктивность растений, качество окружающей среды, баланс и функции биосферы. Качество почвы определяется взаимодействием основных компонентов: структуры, химического состава, биоты. Рассмотрены важность биоты как неотъемлемого компонента и сенсора всех почвенных процессов – почвообразования, интенсивности дыхания, ферментативной активности и т.п. Процесс почвообразования и свойства почвы зависят от взаимодействия абиотических факторов с живыми организмами. Почвенная среда определяет видовое разнообразие, численность, активность и производительность почвенной биоты. Экологическое и фитосанитарное состояние почв определяется деятельностью почвенных микроорганизмов – высокочувствительных индикаторов биологической активности почвы, агентов биорекультивации. Корни растений изменяют структуру почвы, воздушный режим, участвуют в разложении минералов, являются источником органики для микробиоты. Корневые выделения растений специфически влияют на развитие микроорганизмов в ризосферной зоне и на ее биохимическую активность. Оценка и понимание биологической активности почвы является основой для объективного и целостного отражения качества почвы, использования биологических процессов при проведении мониторинга и фиторемедиации.

**Ключевые слова:** почва, биологические процессы, биологическая активность почвы.

Одержано: 09.07.2013