

УДК 579.22

**СУЧАСНІ МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ
ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ЗА АКТИВНІСТЮ
МІКРОБІОЦЕНОЗУ**

Дем'янюк О.С.

Інститут агроекології і природокористування НААН

Симочко Л.Ю.

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород

Тертична О.В.

Інститут агроекології і природокористування НААН

olyater@ukr.net

В статті обговорюється питання сучасних підходів до оцінки екологічного стану ґрунту за активності ґрунтової мікробіоти. Аналіз результатів численних експериментальних досліджень свідчить, що на сьогодні відсутня уніфікована система біодіагностики ґрунту. Тому актуальною задачею є розробка цілісної концепції діагностики та оцінки стану ґрунту при дії різних екологічних та антропогенних факторів з урахуванням біологічних властивостей та функціонування мікробіоценозу, що дозволить проводити ранню діагностику негативних змін навколишнього середовища. Аналіз літературних джерел показав, що важливим внеском є сумарні показники біологічної активності мікроорганізмів, які виступають як редуценти органічних залишків, а також політантів різного походження та беруть участь у виконанні однієї з найважливіших функцій ґрунту – перетворенні речовини та енергії як у природних, так і в антропогенно трансформованих екосистемах, зокрема агроекосистемах. Проаналізовано перелік біодіагностичних показників та обґрунтовано доцільність їх використання в моніторингових дослідженнях та комплексній екологічній оцінці стану ґрунту.

Мікробіоценоз, екологічний стан ґрунту, біодіагностика, моніторинг, антропогенний вплив.

Дедалі наростаючий антропогенний вплив на екосистеми вимагає нових ефективних методів їх моніторингу та діагностики стану об'єктів навколишнього природного середовища. Світова практика свідчить про перспективність використання біологічних об'єктів у виявленні антропогенно обумовленої деградації природних та трансформованих екосистем, встановленні довгострокових тенденцій їх змін та буферної здатності біологічних систем щодо чинників різної природи [1, 2, 7, 14, 31]. Проте, в Україні комплексні дослідження з використанням біоіндикаційних показників, зокрема ґрунту в агроекосистемах, поки що не набули системного вигляду, а наявні дослідження носять фрагментарний характер.

Сучасний підхід до оцінювання якості об'єктів навколишнього природного середовища заснований на принципі «збалансованого функціонування» екосистеми і враховує взаємозв'язок компонентів біоценозу та їхню взаємодію з ґрунтом. Як основні показники «збалансованого функціонування» розглядаються кількість і якість створюваної біологічної продукції, біорізноманіття, стан надземної флори та фауни тощо. Ґрунт у біосфері виконує важливу екологічну функцію. Він знаходиться у центрі всіх біосферних процесів обміну речовини і енергії, відіграє ключову роль сполучної ланки між біологічним і геологічним кругообігом, є екологічною нішею для багатьох видів живих організмів [1, 21, 27, 28, 35, 43, 44].

Формування та підтримка різноманітності форм життя – одна із найважливіших екологічних функцій ґрунту, яка реалізується через створення умов, необхідних для життєдіяльності живих організмів: трофічних, фізико-хімічних, фізичних, гідротермічних тощо. Адекватно до умов ґрунтового середовища формуються і функціонують мікробіоценози, фітоценози та угруповання фауни, які знаходяться у прямій залежності від чинників навколишнього природного середовища [16, 20, 25, 45, 46].

Біота (рослини, фауна, мікроорганізми) і ґрунт у природних умовах пройшли тривалий шлях коеволуції. Нині їх тісний взаємозв'язок зберігається на різних ієрархічних рівнях структурно-функціональної організації цієї системи. Ґрунти, що знаходяться на клімаксовому рівні еволюції, мають стійке полікомпонентне угруповання біоти, різноманітність видів, життєві форми і фізіологічні функції яких відображають їх властивості. Однак еволюційно сформована єдність ґрунту й біорізноманіття дуже вразливі і можуть збалансовано

функціонувати лише за умови збереження цілісності всіх його компонентів і природних ландшафтів загалом [21].

Екологічна оцінка стану ґрунту складається з біологічного моніторингу – контролю стану навколишнього природного середовища за допомогою живих організмів, біодіагностики – виявлення причин зміни стану середовища за допомогою видів-індикаторів, що включає біоіндикацію та біотестування.

Важливою складовою методологічної основи оцінювання екологічного стану ґрунту є система показників контролю, вибір яких зумовлений необхідністю адекватної характеристики основних функцій ґрунту, ґрунтоутворювальних або ґрунторуйнівних процесів, а також основних процесів, пов'язаних із ростом, розвитком та живленням рослин. Крім того, основними вимогами до показників біологічної активності ґрунту, які мають бути залучені для проведення біодіагностичних досліджень, є: інформативність, висока чутливість, репрезентативність, доступність у методичному виконанні, тобто мати невелику похибку та характеризуватись простотою визначення [7, 24].

Біологічні індикатори мають низку переваг порівняно з іншими. По-перше, це висока чутливість до дії зовнішніх чинників. По-друге, вони дозволяють простежити за негативними процесами на ранніх стадіях їх розвитку [28].

Провідні українські вчені, зокрема, В.П. Патица [12–14], Г.О. Іутинська [1], В.В. Медведєв [10], О.В. Шерстобоева [24, 25], В.П. Стефурак [18] та ін. вважають, що мікробіологічні показники ґрунту, як найбільш інформативні і чутливі, повинні бути враховані при проведенні комплексного моніторингу ґрунтів. Крім того, було обґрунтовано важливість і доцільність урахування мікробіологічних показників при проведенні агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення для всебічної оцінки родючості ґрунтів. Але в Україні не розроблена єдина загальноприйнята система біомоніторингу ґрунтів природних і антропогенно змінених екосистем за біологічними показниками. Не дивлячись на актуальність проблеми збалансованого використання природних ресурсів і охорони довкілля, досі відсутня уніфікована система біодіагностичних показників (критеріїв) біохімічних і мікробіологічних процесів, за якими можна було б провести превентивне оцінювання та моніторинг негативних змін і явищ ґрунту за антропогенного впливу, а також розробити заходи щодо їх усунення. У сучасних наукових роботах запропоновано лише окремі показники-критерії екологічного оцінювання агротехнологій [1, 3, 5, 10, 24].

Більшість вітчизняних дослідників, досліджуючи біологічну активність ґрунту в природних і антропогенно змінених екосистемах, спрямовували свою увагу на моніторинг або вивчення впливу окремих чинників на стан мікробіоценозу, і поза їх увагою залишалось питання залежності мікробіоценозу ґрунту та його біохімічної активності від комплексу чинників з урахуванням мінливості параметрів кліматичної системи.

Базисом для проведення біодіагностичних досліджень є біологічна активність ґрунту – це сумарний результат одночасно протікаючих біохімічних процесів, обумовлених життєдіяльністю ґрунтової мікробіоти. Поліфункціональність мікроорганізмів дає їм змогу брати участь у протилежних біохімічних реакціях ґрунту, забезпечуючи при цьому функціонування, продуктивність і гомеостаз екосистеми [1, 32, 47].

Оцінка екологічного стану ґрунту – це визначення відповідності протікання процесів у досліджуваних ґрунтах відповідним їх природним аналогам, що дозволяє виявити допустиме значення того чи іншого агротехнічного чинника, встановленого за критерієм відповідності нормального функціонування природних екосистем [1, 10, 13].

Під час проведення екологічних досліджень ґрунту використовують два види екологічних стандартів. Перший, це природний стандарт – відповідає цілинним, непорушеним ґрунтам. Другий – антропогенний екологічний стандарт, який сформувався за довготривалого впливу будь-якої діяльності людини. Для агроекосистеми за такий стандарт приймають контрольні варіанти (ділянки), які зазнають тривалого систематичного антропогенного впливу [10, 13].

В.В. Медведєвим [10] запропоновано для виявлення і оцінювання ступеня порушення екосистеми порівняти будь-які її показники з аналогічними непорушеної екосистеми – так званого еталону. Тому ґрунтовий еталон – це ґрунт у вихідному стані, який є своєрідною точкою відліку для всіх наступних порівнянь під час тривалих систематичних спостережень, у т.ч. моніторингу. Найбільш об'єктивним еталоном є цілинний, бажано абсолютно заповідний ґрунт, який не зазнає антропогенного впливу, тому порівняння такого ґрунту із ґрунтами залученими у сільськогосподарське виробництво, на думку автора, дає обґрунтовані висновки про зміни останніх у результаті господарської діяльності. Через недостатню кількість цілинних аналогів подібним еталоном може бути переліг, що не перебував у сільськогосподарській експлуатації не менше 20–25 років.

Мікроорганізми ґрунту є чутливим індикатором середовища існування. Вони здатні виявляти ті найменші зміни, що відбуваються у ґрунті за дії чинників різної природи і походження, тоді як на рівні вищих організмів (наприклад, рослини) такі зміни проявляються значно пізніше. Власне мікробіота, її таксономічна і функціональна структура, біологічна активність можуть виступати як екологічні й біохімічні індикатори дії різних антропогенних чинників та зміни ґрунтово-кліматичних умов [1, 9, 10]. Тобто мікроорганізми є важливим інформативним показником змін, які проходять у ґрунті, і це робить доцільним включення їх у систему екологічного моніторингу.

Мікробіологічна характеристика ґрунту – найбільш складний розділ ґрунтової біодіагностики. Існують сумніви щодо можливості зібрання всієї інформації про склад і функції ґрунтової мікробіоти (особливо бактерій), через їх різноманітність та поліфункціональність [6].

Різна чутливість компонентів мікробного угруповання ґрунту до дії різних біотичних та абіотичних чинників, у т.ч. антропогенного впливу, призводить до випадання найменш стійких його ланок, порушення природної рівноваги між окремими групами мікробіоти. Своєю чергою, це змінює інтенсивність окремих стадій процесів кругообігу біогенних елементів, що спричиняє деградацію ґрунтів, їх дегуміфікацію, порушення екологічних функцій тощо. У числі фактологічних і функціональних критеріїв стану ґрунтового мікробіоценозу традиційно використовують чисельність окремих видів мікроорганізмів, а також їх еколого-трофічних і функціональних груп [9, 16].

Будь-який мікробіоценоз складається з мікроорганізмів різних функціональних і таксономічних груп, які різняться вимогами до умов середовища, живлення та джерела енергії. Кількісне співвідношення між цими групами повністю залежить від умов навколишнього природного середовища (абіотичних і біотичних чинників), в яких і формується мікробний ценоз [1, 25, 27, 33, 41, 44].

Можливості вивчення й розуміння біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів мають певні таксономічні і методологічні обмеження. Зокрема, визначення та ідентифікації ґрунтових мікроорганізмів і вивчення їх функцій. І хоча молекулярні методи мають переваги в отриманні інформації про некультивовані форми мікроорганізмів, їм також характерні певні обмеження, які не можуть бути проігноровані. Нині немає більш

інформативного способу вивчення різноманіття ґрунтових мікроорганізмів як використання комплексу молекулярних методів, за допомогою яких можна отримати найповніші знання про біорізноманіття, стан та активність мікробного угруповання [22].

Тому система біодіагностичних критеріїв має обов'язково передбачати використання молекулярно-генетичних показників. За допомогою сучасних методів досліджень проводиться виділення та аналіз загальної ґрунтової мікробної ДНК ґрунту, при застосуванні методів полімеразної ланцюгової реакції та секвенування гену за 16S РНК встановлюється видове біорізноманіття мікроорганізмів різних типів ґрунту та за використання тих чи інших агротехнологій [11, 22, 38].

Екологічний стан ґрунту агроєкосистеми характеризують різні показники рівня його біологічної активності, які залежать від типу та родючості ґрунту, а також застосованих агрозаходів. Своєю чергою мікробне угруповання кількісно і якісно змінюється при внесенні у ґрунт будь-якого субстрату, особливо органічного походження, які відрізняються за поживністю, складом речовин, інтенсивністю деструкції тощо, тому активізує різні за функціональністю ґрунтові мікробні популяції. Слід ураховувати, що деструкція органічних речовин і асиміляція мікробним угрупованням та рослинами доступних продуктів їх розкладу підвищує продуктивність агроєкосистем не лише в аспекті отримання сільськогосподарської продукції, а й в аспекті відновлення, збереження та підвищення родючості ґрунту, що є дуже актуальним завданням сучасної агроєкологічної науки.

Важливими показниками стану мікробіоценозу ґрунту є співвідношення чисельності певних еколого-трофічних груп мікроорганізмів за якими розраховують коефіцієнт мінералізації-іммобілізації, оліготрофності, педотрофності, гуміфікації та ін. Вони вказують на спрямованість мікробіологічних процесів, що відбуваються у ґрунті, у напрямку деградації або відновлення його родючості. Видову різноманітність мікробних угруповань оцінюють за допомогою екологічних індексів – Шеннона та Сімпсона. Багато дослідників вважають, що здатність екосистеми підтримувати гомеостаз, тобто стан динамічної рівноваги, визначається складністю поліфункціональних зв'язків та видовим різноманіттям ґрунтових мікроорганізмів. Також використовують окремі види мікроорганізмів як тест-об'єкти. Зокрема, у більшості досліджень екологічного стану ґрунту використовують бактерії роду *Azotobacter* як індикатор сприятливих екологічних умов

грунту та його родючості. Особливо чутливим щодо негативної дії природних та антропогенних чинників, зокрема забруднювачів, є вид *Azotobacter chroococcum* [1].

Структура ґрунтового мікробного угруповання змінюється у відповідь на зміну параметрів навколишнього середовища, тому може слугувати діагностичним критерієм. Зокрема, високе або зростаюче у структурі мікробіоценозу співвідношення мікроміцети / бактерії у ґрунті запропоновано використовувати як індикатор повернення екосистеми до «природного» стану [29]. Також співвідношення бактерій і мікроміцетів у ґрунтовій мікробній біомасі дає уявлення про акумуляції або секвестрування карбону ґрунтами [30], а отже також може характеризувати їх газопродукційні властивості і бути чинником, що регулює емісію CO_2 і N_2O [4, 40].

Мікробна біомаса є важливим, живим і лабільним компонентом органічної речовини ґрунту і його природним мікробним потенціалом, що дозволяє цей показник широко використовувати при оцінюванні як стану мікробіоценозу, так і ґрунту [15, 20, 39]. За рахунок того, що швидкість оборотності мікробної біомаси складає 0,5–2 роки, а органічної речовини ґрунту більше 20 років, це дозволяє використовувати значення змін, що відбуваються з мікробною біомасою (зокрема, її зменшення) при оцінюванні стану органічної речовини ґрунту. Д.С. Поулсон з співавт. [39] рекомендують вміст мікробної біомаси використовувати за ранньої діагностики змін в органічній речовині ґрунту, наприклад, унаслідок різних агрозаходів.

Одним із важливих показників, що визначає стан і активність мікробіоценозу ґрунту за різного впливу біотичних і абіотичних чинників, є ферментативна активність. Дослідження в цій області проводилися багатьма вченими [12, 36, 42], які встановили високу ефективність та перспективність використання цього показника для діагностики динаміки родючості ґрунту за впливу різних антропогенних і природних чинників.

Програмою стандартного моніторингу ґрунтів України запропоновано такі біодіагностичні показники як активність азотфіксації; нітрифікаційна, амоніфікаційна, денітрифікаційна здатність, активність пероксидази, поліфенолоксидази, дегідрогенази, інвертази, а також сумарна біологічна активність – продукування діоксиду карбону (CO_2) [10, 12]. Враховуючи багаторічні результати досліджень та наробки Інституту агроєкології і природокористування НААН, провідних українських і закордонних вчених мікробіологів, екологів, була розроблена

система показників біологічної активності ґрунту, які необхідно враховувати під час проведення екологічного оцінювання агротехнологій [3]. Дані показники охоплюють доклітинний, популяційний, ценотичний рівні організації біологічної системи.

Важливою проблемою залишається пошук найкращих способів інтегрування даних екологічного моніторингу ґрунтів. Запропоновано чимало методичних підходів і схем розрахунку індексів стану ґрунту, значення яких зіставляються з рівнями техногенного навантаження і/або категоріями якості навколишнього природного середовища. А саме: відхилення чисельності мікроорганізмів від меж їх природної норми-міри, вміст карбону та нітрогену в мікробній біомасі, частка мікробного від загального органічного карбону ґрунту, співвідношення показників активності азотфіксації та емісії закису нітрогену, співвідношення різниці респіраторної активності ґрунту природної екосистеми та досліджуваних агроландшафтів тощо [8, 17, 18, 23, 26, 37].

Також широко застосовується математичне моделювання біологічних процесів у ґрунті [45, 46]. У сучасних екологічних дослідженнях набув широкого застосування метод «Триад» [34], який певною мірою включає аналіз функції «бажаності», що дозволяє здійснити перерахунок натуральних значень хімічних, біологічних і токсикологічних показників у єдину безрозмірну шкалу з чітко фіксованими межами. Показані можливості методу «Триад» для комплексного оцінювання екологічного стану ґрунтів. При цьому перевага методу полягає в формалізації даних щодо реакції живих об'єктів у біотести, біоіндикаційних змін натурних угруповань мікроорганізмів і даних про хімічне забруднення в узагальнений (інтегральний) індекс екологічного стану [19].

Висновки

1. Оцінювання стану і активності мікробіоценозу ґрунту, його біорізноманіття може слугувати для вирішення низки екологічних завдань: визначення впливу антропогенної діяльності (у т.ч. різних агрозаходів), визначення тимчасової стійкості «резистентності» екосистеми до впливу тих чи інших антропогенних чинників тощо.

2. Особливого значення набуває розроблення цілісної концепції діагностики і оцінки екологічного стану ґрунту з урахуванням його біологічних властивостей та функціонування мікробіоценозу, які є більш динамічними й дозволяють проводити

ранню діагностику будь-яких змін у навколишньому природному середовищі. Найбільш вагомий внесок у сумарні показники біологічної активності вносять мікроорганізми, які виступають як редуценти органічних залишків, техногенних забруднювачів і беруть участь у виконанні однієї з найважливіших функцій ґрунту – перетворенні речовини і енергії, як у природних, так і в антропогенно трансформованих екосистемах, зокрема агроекосистемах. Ось чому ґрунтово-біологічні дослідження не можуть залишатись поза увагою при моніторингу різних екосистем і повинні бути покладені в основу контрольної функції стану ґрунтового середовища. Ця функція необхідна для розроблення стратегічних підходів раціонального використання ґрунтових ресурсів, відновленні родючості ґрунту та екологічно безпечних агротехнологій тощо.

Література:

1. *Биорегуляция микробно-растительных систем: монография* / [Иутинская Г.А., Пономаренко С.П., Андреев Е.И. и др.]; под. ред. Г.А. Иутинской, С.П. Пономаренко. – К.: Ничлава, 2010. – 464 с.

Iutinskaya G.A. Bioregulyatsiya mikrobnno-rastitelnykh sistem: monografiya / [Iutinskaya G.A., Ponomarenko S.P., Andreyuk Ye.I.]; ed. G.A. Iutinskaya, S.P. Ponomarenko. – Kyiv: Nichlava, 2010. – 464 p.

2. *Дідух Я.П. Основи біоіндикації* / Я.П. Дідух. – К.: Наукова думка, 2012. – 344 с.

Didukh Ya.P. Osnovy bioindykatsii / Ya.P. Didukh. – Kyiv: Naukova dumka. – 2012. – 344 p.

3. *Екологічна експертиза технологій вирощування сільськогосподарських культур. Методичні рекомендації* / [Макаренко Н.А., Бондарь В.І., Макаренко В.В. та ін.]; за ред. Н.А. Макаренко і В.В. Макаренка. – К.: ДІА, 2008. – 84 с.

Ekolohichna ekspertyza tekhnolohii vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur. Metodychni rekomendatsii / Makarenko N.A., Bondar V.I., Makarenko V.V.; Ed. N.A. Makarenko, V.V. Makarenko. – Kyiv: DIA, 2008. – 84 p.

4. *Заварзин Г.А. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического вещества на территории России* / Г.А. Заварзин, В.Н. Кудеяров // *Вестник Российской академии наук.* – 2006. – Т. 76, № 1. – С. 14–29.

Zavarzin G.A. *Pochva kak glavnyy istochnik uglekisloty i rezervuar organicheskogo veshchestva na territorii Rossii* / G.A. Zavarzin, V.N. Kudiyarov // *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk.* – 2006. – Vol. 76, № 1. – P. 14–29.

5. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // *Почвоведение.* – 1978. – № 6. – С. 48–54.

Zvyagintsev D.G. *Biologicheskaya aktivnost pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh ee pokazateley* / D.G. Zvyagintsev // *Pochvovedenie.* – 1978. – № 6. – P. 48–54.

6. Звягинцев Д.Г. Развитие представлений о структуре микробных сообществ почв / [Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Бабьева И.П., Чернов И.Ю.] // *Почвоведение.* – 1999. – № 1. – С. 134–144.

Zvyagintsev D.G. *Razvitie predstavleniy o strukture mikrobnnykh soobshchestv pochv* / Zvyagintsev D.G., Dobrovolskaya T.G., Babeva I.P., Chernov I.Yu. // *Pochvovedenie.* – 1999. – № 1. – P. 134–144.

7. Казеев К.Ш. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований / Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. – Ростов на Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. – 350 с.

Kazeev K.Sh. *Biologicheskaya diagnostika i indikatsiya pochv: metodologiya i metody issledovaniy* / Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Valkov V.F. – *Rostov na Donu: Izd-vo TsVVR, 2004. – 350 p.*

8. Корсун С.Г. Спосіб визначення екологічної стійкості ґрунтів в агроландшафтах / С.Г. Корсун // *Вісник аграрної науки.* – 2006. – № 6. – С. 60–62.

Korsun S.H. *Sposib vyznachennia ekolohichnoi stiikosti gruntiv v ahrolandshaftakh* / S.H. Korsun // *Visnyk ahrarnoi nauky.* – 2006. – № 6. – P. 60–62.

9. Курдыш И.К. Роль микроорганизмов у відтворенні родючості ґрунтів / И.К. Курдыш // *Сільськогосподарська мікробіологія.* – 2009. – Вип. 9. – С. 7–32.

Kurdysh I.K. *Rol' mikroorhanizmv u vidtvorenni rodiuchosti gruntiv* / I.K. Kurdysh // *Silskohospodarska mikrobiolohiia.* – 2009. – Vyp. 9. – P. 7–32.

10. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины / В.В. Медведев. – Харьков, 2002. – 428 с.

Medvedev V.V. *Monitorynh pochv Ukrainy* / V.V. Medvedev. – *Kharkov, 2002. – 428 p.*

11. Молекулярно-генетичні методи для визначення різноманіття ґрунтових мікроорганізмів. Методичні рекомендації / [Шерстобоева О.В., Чабанюк Я.В., Бунас А.А. та ін.]. – К., 2014. – 39 с.

Molekuliarno-henetychni metody dlia vyznachennia riznomanittia ґruntovykh mikroorhanizmiv. Metodychni rekomendatsii / [Sherstoboieva O.V., Chabaniuk Ya.V., Bunas A.A. ta in]. – К., 2014. – 39 p.

12. Патица В.П. Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України / В.П. Патица, Л.Ю. Симочко // Мікробіологічний журнал. – 2013. – № 2. – С. 21–31.

Patyka V.P. Mikrobiolohichni monitorynh ґruntu pryrodnykh ta transformovanykh ekosystem Zakarpattia Ukrainy / V.P. Patyka, L.Yu. Symochko // *Mikrobiolohichni zhurnal*. – 2013. – № 2. – P. 21–31.

13. Патица В.П. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / В.П. Патица, О.Г. Тараріко. – К.: Фітоцентр, 2002. – 296 с.

Patyka V.P. Ahroekolohichni monitorynh ta pasportyzatsiia silskohospodarskykh zemel / V.P. Patyka, O.H. Tarariko. – К.: Fitotsentr, 2002. – 296 p.

14. Петриченко В.Ф. Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агроекосистем / [Петриченко В.Ф., Тихонович І.А., Коць С.Я. та ін.] // Вісник аграрної науки. – 2012. – № 8. – С. 5–11.

Petrychenko V.F. Silskohospodarska mikrobiolohiia i zbalansovanyi rozvytok ahroekosystem / [Petrychenko V.F., Tykhonovych I.A., Kots S.Ia. ta in.] // *Visnyk ahrarnoi nauky*. – 2012. – № 8. – P. 5–11.

15. Полянская Л.М. Содержание и структура микробной биомассы как показатель экологического состояния почв / Л.М. Полянская, Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 2005. – № 6. – С. 706–714.

Polianskaia L.M. Soderzhanye y struktura mykrobnoi byomassy kak pokazatel ekolohycheskoho sostoianiya pochv / L.M. Polianskaia, D.H. Zviahyntsev // *Pochvovedenye*. – 2005. – № 6. – P. 706–714.

16. Стахурлова Л.Д. Биологическая активность как индикатор плодородия черноземов в различных биоценозах / Стахурлова Л.Д., Свистова П.Д., Щеглов Д.П. // Почвоведение. – 2007. – № 6. – С. 769–774.

Stakhurlova L.D. Byolohycheskaia aktyvnost kak yndykator plodorodyia chernozemov v razlychnikh byotsenozakh / *Stakhurlova*

L.D., Svystova P.D., Shcheglov D.P. // *Pochvovedenye*. – 2007. – № 6. – S. 769–774.

17. Степанов А.М. Биоиндикация на уровне экосистем / А.М. Степанов // *Биоиндикация и биомониторинг*. – М.: Наука, 1991. – С. 59–64.

Stepanov A.M. *Вуоундукатыя на уровне экосистем* / А.М. Степанов // *Вуоундукатыя у вуотопуторуи*. – М.: Наука, 1991. – С. 59–64.

18. Стефурак В.П. Использование микробиологических тестов для оценки состояния наземных экосистем в условиях антропогенного загрязнения / В.П. Стефурак // *Устойчивое развитие: Загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность: труды I междунар. науч.-практ. конф.* – Днепропетровск, 1995. – Т. 2. – С. 91.

Stefurak V.P. *Yspolzovanye mykrobyolohycheskykh testov dlia otsenky sostoianiya nazemnykh ekosystem v usloviakh antropohennoho zahriazneniya* / V.P. Stefurak // *Ustoichyvoe razvytye: Zahriaznenye okruzhaiushchei sredy u ekolohycheskaia bezopasnost: trudы I mezhdunar. nauch.-prakt. conf.* – Dnepropetrovsk, 1995. – Т. 2. – P. 91.

19. Терехова В.А. «Триадный» подход к экологической оценке городских почв / Терехова В.А., Пукальчик М.А., Яковлев А.С. // *Почвоведение*. – 2014. – № 9. – С. 1145–1152

Terekhova V.A. «Tryadnui» podkhod k ekolohycheskoi otsenke horodskyykh pochv / Terekhova V.A., Pukalchyk M.A., Yakovlev A.S. // *Pochvovedenye*. – 2014. – № 9. – P. 1145–1152.

20. Фрунзе Н.И. Биомасса почвенных микроорганизмов в пахотных черноземах Молдовы / Н.И. Фрунзе // *Сельскохозяйственная биология*. – 2013. – № 3. – С. 92–99.

Frunze N.Y. *Вуотасса почвенных микроорганизмов в пахотных черноземах Молдовы* / N.Y. Frunze // *Selskokhoziaistvennaia byolohyia*. – 2013. – № 3 – P. 92–99.

21. Хазиев Ф.Х. Почва и биоразнообразие / Ф.Х. Хазиев // *Экология*. – 2011. – № 3. – С. 184–190.

Khazyev F.Kh. *Pochva u byoraznoobrazye* / F.Kh. Khazyev // *Ekolohia*. – 2011. – № 3. – P. 184–190.

22. Чабанюк Я.В. Молекулярні методи вивчення різноманіття ґрунтових мікроорганізмів / Я.В. Чабанюк // *Агроекологічний журнал*. – 2013. – № 3. – С. 107–115.

Chabaniuk Ya.V. *Molekuliarni metody vyvchennia riznomanittia gruntovykh mikroorhanizmiv* / Ya.V. Chabaniuk // *Ahroekolohichnyi zhurnal*. – 2013. – № 3. – P. 107–115.

23. Чучвага І.Г. Процеси біологічної трансформації азоту за дії біотичних та абіотичних факторів / І.Г. Чучвага, К.І. Волкогон // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія Біологія. – 2014. – № 3. – С. 175–179.

Chuchvaha I.H. Protsesy biolohichnoi transformatsii azotu za dii biotychnykh ta abiotychnykh faktoriv / I.H. Chuchvaha, K.I. Volkohon // Naukovi zapysky Ternopilskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Hnatiuka. Seriiia Biolohiia. – 2014. – № 3. – P. 175–179.

24. Шерстобоева О.В. Оцінка впливу агротехнологій на стан ґрунтів агроєкосистем за біодіагностичними показниками. Методичні рекомендації / Шерстобоева О.В., Дем'янюк О.С., Шустерук Т.З. ; за наук. ред. О.І. Фурдичка. – К., 2007. – 25 с.

Sherstoboieva O.V. Otsinka vplyvu ahrotekhnolohii na stan gruntiv ahroekosystem za biodiagnostychnym pokaznykamy. Metodychni rekomendatsii / Sherstoboieva O.V., Demianiuk O.S., Shusteruk T.Z.; za nauk. red. O.I. Furdychka. – K., 2007. – 25 p.

25. Шерстобоева О.В. Біологічний моніторинг ґрунтів як складова екологічного моніторингу агроєкосистем / О.В. Шерстобоева, Т.З. Шустерук, О.С. Дем'янюк // Агроєкологічний журнал. – 2007. – № 3. – С. 45–49.

Sherstoboieva O.V. Biolohichniy monitorynh gruntiv yak skladova ekolohichnoho monitorynhu ahroekosystem / Sherstoboieva O.V., Shusteruk T.Z., Demianiuk O.S. // Ahroekolohichniy zhurnal. – 2007. – № 3. – P. 45–49.

26. Яковлев А.С. Биологическая диагностика и мониторинг состояния почв / А.С. Яковлев // Почвоведение. – 2000. – № 1. – С. 70–73.

Iakovlev A.S. Byolohycheskaia dyahnostyka y monitorynh sostoianiya pochv / A.S. Iakovlev // Pochvovedenye. – 2000. – № 1. – P. 70–73.

27. Aislabie J. Soil microbes and their contribution to soil services / J. Aislabie, J.R. Deslippe / Soil microbial diversity. Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends. – Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 2013. – P. 143–161.

28. Bardgett R.D. Biological diversity and function in soils / R.D. Bardgett, M.B. Usher. – Cambridge Univ.-Press, 2005. – 505 p.

29. Bardgett R.D. The measurement of soil fungal: bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands / R.D. Bardgett, E. McAlister // Biol Fertil Soils. – 1999. – Vol. 29. – P. 282–290.

30. Bailey V.L. Fungal-to-bacterial biomass ratios in soils investigated for enhanced carbon sequestration / Bailey V.L., Smith J.L., Bolton H.J. // *Soil Biol Biochem* – 2002. – Vol. 34. – P. 997–1007.

31. *Bioindication in Soil Ecosystems* / Edited by T.J. Heger, G. Imfeld, E.A.D. Mitchell // *European Journal of Soil Biology*. – 2012. – Vol. 49. – P. 1–118.

32. Brussaard L. Soil biodiversity for agricultural sustainability / Brussaard L., de Ruiter P.C., Brown G.G. // *Agriculture Ecosys. Environ.* – 2007. – Vol. 121. – P 233–244.

33. Churkina G. The taxonomic composition of soil microorganisms in the ecosystems of southern chernozems of Northern Kazakhstan / Churkina G., Kunanbayev K., Akhmetova G. // *Applied Technologies & Innovations*. – 2012. – Vol. 8. – P. 13–19.

34. Dagnino A. «Weight-of-Evidence» approach for the integration of environmental «Triad» data to assess ecological risk and biological vulnerability / [Dagnino A., Sforzini S., Dondero F. et al.] // *Integr. Environ. Assess. Manage.* – 2008. – No 4. – P. 314–326.

35. Faust K. Microbial interactions: from networks to models / K. Faust, J. Raes // *Nat Rev Microbiol.* – 2012. – № 10. – P. 538–550.

36. Fogarty W.M. *Microbial enzymes and biotechnology* / W.M. Fogarty, C.T. Kelly. – Springer Science and Business Media, 2012. – 472 p.

37. Hofman J., Bezchlebova J., Dusek L. Novel approach to monitoring of the soil biological quality // *Environ. Int.* – 2003. – Vol. 28, No 88. – P. 771–778.

38. Kuczynski J. Using QIIME to analyze 16S rRNA gene sequences from Microbial Communities / [Kuczynski J., Stombaugh J., Walters W.A. et al.] // *Curr Protoc Bioinformatics* – 2012. – Mode of access: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3249058/>.

39. Powlson D.S. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation / Powlson D.S., Brookes P.C., Christensen B.T. // *Soil Biology & Biochemistry*. – 1987. – Vol. 19, № 2. – P. 159–164.

40. Sakamoto K. Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass / K. Sakamoto, Y. Oba // *Biol Fertil Soils*. – 1994. – Vol. 17, № 1. – P. 39–44.

41. Schulz S. The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation / [Schulz S., Brankatschk R., Dumig A. et al.] // *Biogeosciences*. – 2013. – № 10. – P. 3983–3996.

42. Shukla G. *Soil Enzymology* / G. Shukla, A. Varma. – Springer, 2011. – 384 p.
43. *Soil Ecology and Ecosystem Services* / Editor-in-Chief D.H. Wall. – Oxford University Press, 2012. – 405 p.
44. *Soil microbial associations. Control of structures and functions* / Edited by V. Vancura, F. Kunc. – Elsevier, 1988. – P. 157–190.
45. Steinweg J.M. *Modeling the effects of temperature and moisture on soil enzyme activity: linking laboratory assays to continuous field data* / Steinweg J.M., Dukes J.S., Wallenstein M.D. // *Soil Biol. Biochem.* – 2012. – Vol. 55. – P. 85–92.
46. Wang G. *A theoretical reassessment of microbial maintenance and implications for microbial ecology modeling* / G. Wang, W.M. Post // *FEMS Microbiol. Ecol.* – 2012. – Vol. 81. – P. 610–617.
47. Zornoza R. *Changes in soil microbial community structure following the abandonment of agricultural terraces in mountainous areas of Eastern Spain* / [Zornoza R., Guerrero C., Mataix-Solera J. et al.] // *Appl Soil Ecol.* – 2009. – Vol. 42. – P. 315–323.

**MODERN METHODOLOGICAL APPROACHES TO EVALUATION
THE ECOLOGICAL CONDITION OF SOIL
BY MICROBIAL ACTIVITY.**

Demyanyuk O.S.,

Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS

Symochko L.Yu.,

Uzhhorod National University

Tertychna O.V.

Institute of Agroecology and Nature Management of NAAS

olyater@ukr.net

The article discusses current approaches to evaluating the ecological state of the soil by the activity of soil microbiota. Analysis of numerous experimental studies shows that nowadays the unified system of soil biodiagnostics is absent, therefore actual task is to develop a holistic concept of diagnostics and evaluation of anthropogenic dynamics of soil ecological condition considering its biological properties and function of microbiota that will carry out early detection of negative changes in the environment. Analysis of published data shows that significant contributions to the biological activity are made by microorganisms as decomposers of organic residues and pollutants of different origin. They participate in the performance of one of the most important functions of the soil – the transformation of matter and

energy in natural and anthropogenically transformed ecosystems, including agroecosystems.

Assessment of soil microbiota and its biodiversity can be used to resolve a number of environmental problems, determine the impact of human activity, the definition of temporary stability of ecosystems under impact of various anthropogenic factors and so on. This assessment can be performed through the analysis of the deviation between the number of microorganisms and normal ratio, content of carbon and nitrogen in the microbial biomass, microbe fraction to the total amount of organic carbon in the soil, the ratio of active nitrogen fixation and emissions of the nitrogen oxide, difference between respiratory activity of soil in natural ecosystems and studied agricultural landscapes.

Soil research can not be performed without attention to monitoring of different ecosystems and should be the basis for the controlling functions of the soil in environment. This function is necessary for the development of strategic approaches to sustainable use of soil resources, restoration of soil fertility and environmentally friendly agricultural technologies.

The search of the best ways to integrate data for environmental monitoring of soil is an immediate problem. A lot of methodological approaches and methods of index calculation of the soil status, which compare the levels of anthropogenic impact and the categories of environment quality are proposed.

During the environmental studies two types of soil environmental standards are used. First is a natural standard that corresponds to virgin, unbroken soil. Second is an anthropogenic environmental standard, which was formed by the long-term impact of any human activity. Areas that are exposed to long systematic human impact are vied as such standard in agroecosystems. Nowadays modeling of biological processes occurring in the soil is widely used. In modern ecological studies method which involves analysis tool of «desirability» that allows to count the natural values of chemical, biological and toxicological parameters in a single dimensionless scale with clearly fixed boundaries is used.

The article analyzes the list of biodiagnostic indicators and the expediency of their use in monitoring studies and complex ecological estimations of soil.