

УДК 579.26:574.47

БІОІНДИКАЦІЯ І БІОТЕСТУВАННЯ ҐРУНТІВ – СУЧАСНІ МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ

Симочко¹ Л.Ю., Дем'янюк² О.С., Симочко¹ В.В.

Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. - Симочко¹ Л.Ю., Дем'янюк² О.С., Симочко¹ В.В..-Проаналізовано сучасні методи оцінки екологічного стану ґрунтів за допомогою біоіндикації і біотестування. Світова практика підтверджує перспективність використання біологічних об'єктів у виявленні антропогенно обумовленої деградації природних та порушених екосистем, встановленні довгострокових тенденцій їх змін та буферної здатності біологічних систем щодо чинників різної природи.

Перевагою біоіндикації стану довкілля є те, що вона дає змогу визначити сумісну біологічну активність впливу фізико-хімічних факторів едафотопу на природне середовище. Сучасні дослідження вказують на те, що перспективним є використання методів біотестування, які є достатньо універсальними, відносно швидкими і недорогими. Базисом для проведення біодіагностичних досліджень є біологічна активність ґрунту. Це сумарний результат одночасно протікаючих біохімічних процесів, обумовлених життєдіяльністю ґрунтової мікробіоти. Біологічна діагностика ґрунтів дозволяє визначити характер і ступінь антропогенного впливу на ґрунтовий покрив на ранніх стадіях розвитку процесів.

Ключові слова: ґрунт, біоіндикація, біотестування, мікроорганізми.

Адреса: ¹ ДВНЗ «Ужгородський національний університет» вул. Волошина 32, Ужгород, 88000 Україна, e-mail: lyudmilassem@gmail.com; ² Інститут агроекології і природокористування НААН.

Bioindication and biotesting of soils - modern methodical approaches. - L.Yu. Symochko¹, O.S. Demyanyuk², V.V. Symochko¹.- The modern methods of environmental assessment of soil by bioindication and biotesting were analyzed. World practice confirms the perspectives of biological objects in detection of anthropogenic degradation of natural and disturbed ecosystems, establishing long-term trends of change and capacity of biological buffer to the factors of different nature. The advantage of bioindicating the state of the environment is that it enables to determine the compatible biological activity of influence of edaphotopes physico-chemical factors on the natural environment. Current research suggests that it is promising to use biotesting methods that are sufficiently versatile, relatively quick and inexpensive. The basis for biodiagnostic studies is the biological activity of the soil. It's a total result of simultaneous biochemical processes, caused by the activity of soil microbiota. Biological diagnostics of soils allows to determine the nature and extent of anthropogenic impact on the soil in the early stages of processes.

Key words: soil, bioindication, biotesting, microorganisms.

Address: ¹ Uzhhorod National University, 32, Voloshyna str., Uzhhorod, 88000 Ukraine, e-mail: lyudmilassem@gmail.com;

² Institute of Agroecology and Environmental Management, 12, Metrologichna str., Kyiv, 03143 Ukraine.

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 (Андреюк и др. 2010; Хазиев 2011; Negeer et al. 2012).

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 (Bascompte 2010; The Microbial ... 2014; Symochko, Patyka 2015).

Біота і ґрунт у природних умовах пройшли тривалий шлях коєволюції. 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 (Медведев 2002; Nannipieri et al. 2003; Хазиев

2011; Soil ... 2012).

Сучасні дослідження підтверджують перспективність використання біологічних об'єктів у виявленні антропогенно обумовленої деградації природних та порушених екосистем, встановленні довгострокових тенденцій їх змін та буферної здатності біологічних систем щодо чинників різної природи (Степанов 1991; Казеев и др. 2004; Дідух 2012; Петриченко 2012; Gobat et al. 2004; Heger, Mitchell 2012).

Екологічна оцінка стану ґрунтів складається з біологічного моніторингу – контролю стану навколишнього природного середовища за допомогою живих організмів, біодіагностики – виявлення причин зміни стану середовища за допомогою видів-індикаторів, яка включає в себе біоіндикацію та біотестування (Розенберг 1994; Заварзін 2004; Hofman 2003; Bardgett 2005; Gobat 2004; The Microbial ... 2014).

Перевагою біоіндикації стану довкілля є те, що вона дає змогу визначити сумісну біологічну активність впливу фізико-хімічних факторів едафотопу на природне середовище. Інтегральна оцінка, зроблена методами біоіндикації, є досить об'єктивною, оскільки враховує і вплив невідомих забруднювачів, які неможливо визначити фізико-хімічними методами (Бешлей та ін, 2011).

Основними вимогами до показників біологічної активності, які мають бути залучені для проведення біодіагностичних досліджень, є: інформативність, висока чутливість, репрезентативність, доступність у методичному виконанні, а саме дослідження повинно мати невелику похибку та характеризуватись простотою визначення (Шерстобоева 2008; Алексеева 2015). Перспективним є використання методів біотестування, які є достатньо універсальними, відносно швидкими і недорогими (Губачов 2010; Джура 2011). Вони дозволяють отримати інтегральну токсикологічну характеристику природних середовищ незалежно від складу забруднюючих речовин. Одним із провідних біологічних методів оцінки стану навколишнього природного середовища є фітоіндикація. В основі фітотестування чутливість рослин до екзогенного хімічного впливу, що виявляється у зміні ростових і морфологічних характеристик. Основними вимогами до застосування методу фітотестування є: експресність, доступність і простота експериментів, відтворюваність і достовірність отриманих результатів, економічність.

Біологічні індикатори мають низку переваг. По-перше, це висока чутливість до дії зовнішніх чинників. По-друге, вони дозволяють простежити за негативними процесами на ранніх

стадіях розвитку процесів.

В. Медведєв (2002), В. Патица (2015), Ф. Хазиев (2011) Г. Іутинська (2006), В. Стефурак (2009), О. Шерстобоева (2008) вважають, що мікробіологічні показники ґрунту як найбільш інформативні і чутливі, повинні бути враховані при проведенні комплексного моніторингу ґрунтів.

Базисом для проведення біодіагностичних досліджень є біологічна активність ґрунту – це сумарний результат біохімічних процесів, що відбуваються одночасно, і обумовлених життєдіяльністю ґрунтової мікробіоти. Поліфункціональність мікроорганізмів дає їм змогу брати участь у протилежних біохімічних реакціях ґрунту, забезпечуючи при цьому функціонування, продуктивність і гомеостаз екосистеми (Андріюк 2001; Brussaard 2007; Symochko, Patyka 2015).

Біологічна діагностика ґрунтів дозволяє визначити характер і ступінь антропогенного впливу на ґрунтовий покрив на ранніх стадіях розвитку процесів.

Під час проведення екологічних досліджень ґрунту використовують два види екологічних стандартів. Перший – це природний стандарт, який 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 (Медведєв 2002). Для виявлення і оцінювання ступеня порушення екосистеми необхідно 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 у процесі 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 орними ґрунтами, дає обґрунтовані висновки про зміни останніх у антропогенного впливу.

Мікроорганізми ґрунту є чутливим індикатором середовища існування. Вони реагують на 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 (Ананьєва 2002; Курдиш 2009; Стахурлова 2007; Симочко 2010).

Мікробіологічна характеристика ґрунтів – найбільш складний розділ ґрунтової біодіагностики. 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 мікроорганізмів. Своєю чергою, це змінює інтенсивність окремих стадій процесів кругообігу біогенних елементів, що призводить до деградації ґрунтів, їх дегуміфікації, порушення екологічних функцій та втрати ґрунтової родючості. У числі фактологічних і функціональних критеріїв стану ґрунтового мікробіоценозів традиційно використовують чисельність окремих видів мікроорганізмів, а також їх еколого-трофічних і функціональних груп (Корсун 2006; Стахурлова 2007; Doelman, Eijsackers 2004; Faust 2012).

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 формується мікробний ценоз (Miguel 1991; Aislabie 2013; Schulz 2013).

Екологічний стан ґрунту агроєкосистеми характеризують різні показники рівня його біологічної активності, які залежать від типу та родючості саме ґрунту, а також застосованих агрозаходів (Симочко 2010; Дем'янюк 2016; Hawksworth 1991; Symochko 2015). 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 розкладання (деструкції) тощо, тому активізує різні за функціональністю ґрунтові мікробні популяції. Слід враховувати, 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 сторону деградації або відновлення його родючості (Андріюк 2001; Маліновська 2014).

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 (Hawksworth 1991; Nannipieri, Ascher 2003).

Структура ґрунтового мікробного угруповання може змінюватися 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 (Bardgett 1999; The Microbial ... 2014; Bailey 2002).

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 ґрунту та його родючості. Особливо чутливим щодо негативної дії природних та антропогенних чинників, зокрема забруднювачів, є вид *Azotobacter chroococcum* (Андріюк 2001; Simule 2009).

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 (Горобцова 2016).

Програмою стандартного моніторингу ґрунтів України запропоновано такі біодіагностичні показники: активність азотфіксації; нітрифікаційна, амоніфікаційна, денітрифікаційна здатність, активність пероксидази, поліфенолоксидази, дегідрогенази, інвертази, а також сумарна біологічна активність – продукування диоксиду карбону (Медведев 2002; Патица 2002).

Крім того, у практиці досліджень широко використовують інтегровані показники екологічного стану ґрунту: відхилення чисельності мікроорганізмів від меж їх природної норми, вміст органічного карбону, вміст карбону та нітрогену в мікробній біомасі, частку мікробного від загального органічного карбону ґрунту, загальну біогенність; тощо (Hofman 2003;

Сумочко 2015).

Одним з 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 (Аюпов 2011; Fogarty 2012; Shukla 2012). які встановили високу ефективність та перспективність використання цього показника для діагностики динаміки родючості ґрунту за впливу різних антропогенних і природних чинників на екосистеми. 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, чутливим індикатором для оцінки рівня деградації ґрунту у природних екосистемах. Ферментативний потенціал ґрунтів залежить від життєдіяльності ґрунтової біоти, складу мікробіологічних угруповань, тому будь-які зміни мікробіоценозу відображаються на ферментативній активності (Wyszowska et al. 2002; Lin et al. 2009).

Мікробіота ґрунту є невід'ємною

складовою, яка відіграє провідну роль у багатьох біологічних процесах, що відбуваються у природних і трансформованих екосистемах. Біодіагностика ґрунтів, зокрема біоіндикація і біотестування дозволяють здійснити комплексну оцінку екологічного стану ґрунту з урахуванням його біологічних властивостей і показників функціонування мікробіоценозу, які є більш динамічними і дозволяють проводити ранню діагностику будь-яких змін навколишнього природного середовища. Вагомий внесок у інтегральний показник біологічної активності вносять мікроорганізми, які виступають редуцентами органічних залишків, техногенних забруднювачів і беруть участь у виконанні однієї з найважливіших функцій ґрунту – перетворення речовини і енергії, як в природних, так і в трансформованих екосистемах.

При комплексному дослідженні якості ґрунтів з метою їх подальшого раціонального використання обов'язково слід враховувати біодіагностичні показники, оскільки, вони є інформативними і дозволяють швидко оцінити різні рівні антропогенного навантаження на едафотопи наземних екосистем.

- AISLABIE, J., DESLIPPE, J.R. (2013). Soil microbes and their contribution to soil services. *Soil microbial diversity. Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand, 143–161.
- BAILEY, V.L., SMITH, J.L., BOLTON, H.J. (2002). Fungal-to-bacterial biomass ratios in soils investigated for enhanced carbon sequestration. *Soil Biology & Biochemistry*, 34, 997–1007.
- BARDGETT, R.D., McALISTER, E. (1999). The measurement of soil fungal: bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands. *Biology and Fertility of Soils*, 29, 282–290.
- BARDGETT, R.D., USHER, M.B. (2005). *Biological diversity and function in soils*. Cambridge Univ. Press, 505 p.
- BASCOMPTE, J. (2010). Ecology. Structure and dynamics of ecological networks. *Science*, 329, 765–766.
- BRUSSAARD, L., DE RUITER, P.C., BROWN, G.G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121, 233–244.
- DOELMAN, P., EIJSSACKERS, H.J.P. (2004). *Vital Soil: Function. Value and Properties*. Elsevier, 358 p.
- FAUST, K., RAES, J. (2012). Microbial interactions: from networks to models. *Nature Reviews Microbiology*, 10, 538–550.
- FOGARTY, W.M., KELLY, C.T. (2012). *Microbial enzymes and biotechnology*. Springer Science and Business Media. 472 p.
- GOBAT, J.-M., ARAGNO, M., MATTHEY, W. (2004). *The Living Soil. Fundamentals of Soil Science and Soil Biology*. Science Publishers, 602 p.
- HAWKSWORTH, D.L. (1991). *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. CAB International, Redwood Press Ltd, Melksham, UK, 302 p.
- HEGER, J., IMFELD, G., MITCHELL, E. (2012). Bioindication in Soil Ecosystems European. *Journal of Soil Biology*, 49, 1–118.
- HOFMAN, J., BEZCHLEBOVA, J., DUSEK, L. (2003). Novel approach to monitoring of the soil biological quality. *Environment International*, 28(88), 771–778.
- LIN, X., LI, X., SUN, T., LI, P., ZHOU, Q., SUN, L., HU, X. (2009). Changes in Microbial Populations and Enzyme Activities During the Bioremediation of Oil-Contaminated Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(4), 542–547.
- MIGUEL, A. (1999). Altieri The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19–31.
- NANNIPIERI, P., ASCHER, J., CECCHERINI, M.T. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 54, 655–670.
- SCHULZ, S., BRANKATSCHK, R., DÜMIG, A., KÖGEL-KNABNER, I., SCHLOTTER, M., ZEYER, J. (2013). The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences*, 10, 3983–3996.
- SHUKLA, G., VARMA, A. (2011). *Soil Enzymology*. Springer, 384 p.
- SIMULE, C.V., DRĂGAN-BULARDA, M. (2009). Bacterial community structure in the polluted soils from Cluj County (North-West Romania), *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, 54(2)*, 77–85.
- Soil Ecology and Ecosystem Services*. (2012). Wall, D.H. (Ed.). Oxford University Press, Oxford, 405 p.
- SYMOCCHKO, L. (2015). Microorganisms as soil quality indicators. *Book of abstracts of the International Scientific Conference «New trends in the ecological and biological research»*, Presov, Slovak Republic, 9–11 September, 2015, 26.

- SYMOCHKO, L., PATYKA, V., SYMOCHKO, V., KALINICHENKO, A. (2015). Soil Microbial Activity and Functional Diversity in Primeval Beech Forests. *Journal of Earth Science and Engineering*, 5(6), 363-371. doi: 10.17265/2159-581X/2015.06.004
- SYMOCHKO, L., SYMOCHKO, V. (2015). Ecology of soil microbial coenosis in agroecosystems of medicinal plants. *Bulletin of Romanian society for cell biology. 7th National congress with international participation and 33rd Annual scientific session of the Romanian society for cell biology*, 4, 29.
- The Microbial Regulation of Global Biogeochemical Cycle*. (2014). Rousk, J., Bengtson, P. (Eds). Frontiers Media SA, 241 p. doi: 10.3389/978-2-88919-297-7
- WYSZKOWSKA, J., KUCHARSKI, J., WAŁDOWSKA, E. (2002). The influence of diesel oil contamination on soil enzymes activity. *Rostlinná Výroba*, 48, 58–62.
- АЛЕКСЕЕВА, А.А., ФОМИНА, Н.В. (2015). Общие принципы биодиагностических исследований агрогенно-измененных почв. *Материалы международной заочной научной конференции «Проблемы современной аграрной науки»*, 15 октября 2014, Красноярск, 3–6.
- АНАНЬЕВА, Н.Д., БЛАГОДАТСКАЯ, Е.В., ДЕМКИНА, Т.С. (2002). Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям. *Почвоведение*, 5, 580–587.
- АНДРЕЮК, Е.И., АНТИПЧУК, А.Ф., БАБАЯНЦ, О.В., БЕЛЯВСКАЯ, Л.А., БРОВКО, И.С., ВАЛАГУРОВА, Е.В., ГАЛКИН, А.П., ГАЛКИНА, Л.А. ГЛАДУН, А.А., ГРИЦАЕНКО, З.М., ДРАГОВОЗ, И.В., ИКИН, Д., ИУТИНСКАЯ, Г.А., КОЗЫРИЦКАЯ, В.Е., КРЮЧКОВА, Л.А., ЛЕОНОВА, Н.О., МОИСЕЕВА, Т.В., МУСАТЕНКО, Л.И., ПЕТРУК, Т.В., ПИНДРУС, А.А., ПОНОМАРЕНКО, С.П., ТЕРЕК, О.И., ТИТОВА, Л.В., ЦЫГАНКОВА, В.А., ХУ ВЕНЬ КСЮ, ЯВОРСКАЯ, В.К., ЯМБОРКО Н.А. (2010). *Биорегуляция микробно-растительных систем*. НІЧЛАВА, Киев, 472 с.
- АНДРІЮК, К.І., ІУТИНСЬКА, Г.О., АНТИПЧУК, А.Ф. (2001). *Функціонування микробних ценозів в умовах антропогенного навантаження*. Обереги, Київ, 240 с.
- АЮПОВ, З.З., АНОХИНА, Н.С. (2011). Влияние приемов основной обработки почвы и удобрения на содержание и запасы общего гумуса и полифенолоксидазную активность чернозема выщелоченного. *Вестник ОГУ*, 131(12), 374–375.
- БЕШЛЕЙ, С.В., БАРАНОВ, В.І., ВАЩУК, С.П. (2011). Оцінка токсичності субстратів відвалів вугільних шахт методом біотестування. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 21, 98-102.
- ГОРОБЦОВА, О.Н., ГЕДГАФОВА, В.Ф., УЛИГОВА, Т.С., ТЕМБОТОВ, Р.Х. (2016). Экофизические индикаторы состояния микробной биомассы черноземов Центрального Кавказа (в пределах терского варианта поясности Кабардино-Балкарии). *Экология*, 1, 22-29.
- ДЕМ'ЯНЮК, О.С., ШЕРСТОБОЄВА, О.В., КРИЖАНІВСЬКИЙ, А.Б. (2016). Таксономічна структура микробіоценозу ґрунту за різних погодних умов. *Вісник Сумського національного аграрного університету*, 2(31), 228-234.
- ДІДУХ, Я.П. (2012). *Основи біоіндикації*. Наукова думка, Київ, 344 с.
- ЗАВАРЗИН, Г.А. (2004). *Лекции по природоведческой микробиологии*. Наука, Москва, 348 с.
- ІУТИНСЬКА, Г.О. (2006). *Ґрунтова мікробіологія*. Арістей, Київ, 284 с.
- КАЗЕЕВ, К.Ш., КОЛЕСНИКОВ, С.И., ВАЛЬКОВ, В.Ф. (2004). Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Издательство ЦВВР, Ростов на Дону, 350 с.
- КОРСУН, С.Г. (2006). Спосіб визначення екологічної стійкості ґрунтів в агро ландшафтах. *Вісник аграрної науки*, 6, 60–62.
- КУРДИШ, І.К. (2009). Роль мікроорганізмів у відтворенні родючості ґрунтів. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 9, 7–32.
- МАЛИНОВСЬКА, І.М., ГАВРИЛОВ, С.О. (2014). Вплив способу обробітку на спрямованість та напруженість мікробіологічних процесів у сірому лісовому ґрунті. *Ґрунтознавство*, 15(1-2), 53–62.
- МЕДВЕДЕВ, В.В. (2002). *Мониторинг почв Украины*. Харьков, 428 с.
- ПАТИКА, В.П., СИМОЧКО, Л.Ю. (2013). Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України. *Мікробіологічний журнал*, 2, 21–31.
- ПАТИКА, В.П., ТАРАРІКО, О.Г. (2002). *Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель*. Фітоцентр, Київ, 296 с.
- ПЕТРИЧЕНКО, В.Ф., ТИХОНОВИЧ, І.А., КОЦЬ, С.Я., ПАТИКА, М.В. (2012). Сільськогосподарська мікробіологія і збалансований розвиток агро екосистем. *Вісник аграрної науки*, 8, 5–11.
- РОЗЕНБЕРГ, Г.С., ВИКТОРОВ, С.В., ТЕРЕХОВА, В.А. (1994). *Биоиндикация: теория, методы, приложения*. Интер-Волга, Тольятти, 266 с.
- СИМОЧКО, Л.Ю., СИМОЧКО, В.В., БІГАРІЙ, І.Й. (2010). Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті агробіогеоценозів при застосуванні різних агрозаходів. *Науковий Вісник Ужгородського ун-ту, Серія: Біологія*, 28, 47–51.
- СТАХУРЛОВА, Л.Д., СВИСТОВА, П.Д., ЩЕГЛОВ, Д.П. (2007). Биологическая активность как индикатор плодородия черноземов в различных биоценозах. *Почвоведение*, 6, 769–774.
- СТЕПАНОВ, А.М. (1991). *Биоиндикация на уровне экосистем. Биоиндикация и биомониторинг*. Наука, Москва, С. 59–64.
- СТЕФУРАК, В.П. (1995). Использование микробиологических тестов для оценки состояния наземных экосистем в условиях антропогенного загрязнения. *Труды I Международной Научно-практической конференции «Устойчивое развитие: Загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность»*, Днепропетровск, Т. 2, С. 91.
- ХАБИБУЛЛИНА, А.Р., КИРИЛИНА, Т.Н., СИРОТКИН, А.С., ТРОГЛ, Й. (2016). Биологический мониторинг состояния почвы в процессах ее восстановления. *Российский журнал прикладной экологии*, 1, 18–21.
- ХАЗИЕВ, Ф.Х. (2011). Почва и биоразнообразие. *Экология*, 3, 184–190.
- ШЕРСТОБОЄВА, О.В., ЧАБАНЮК, Я.В., ФЕДАК, Л.И. (2008). Биоиндикация экологического состояния почв. *Сільськогосподарська мікробіологія*, 7, 48–55.

Отримано: 13 травня 2017 р.

Прийнято до друку: 21 грудня 2017 р.