

УДК 504.05:504.06

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.23>

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ТРАНСФОРМОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ

Гафіяк О.В., Симочко Л.Ю.

Ужгородський національний університет

вул. Волошина, 32, 88000, м. Ужгород

gafiakolga@gmail.com, lyudmilassem@gmail.com

У сучасних умовах однією з найбільш поширених екологічних проблем в Карпатському регіоні є поява значної кількості несанкціонованих сміттєзвалищ, та не достатнє вивчення їх негативного впливу на природні екосистеми. Дослідження таких локальних сміттєзвалищ показали, що значна їх частина зосередженні в межах лісових екосистем, неподалік водних об'єктів. Стічні води звалищ токсичні і забруднюють ґрунтові води та ріки. Відбувається забруднення атмосфери газоподібними речовинами, що утворюються при розкладанні звалених матеріалів. Шкідливі речовини всмоктуються кореневою системою рослин. В забруднених ділянках спостерігаються зміни в фітоценозах, а саме поява інвазивних видів рослин та бур'янів. Трансформовані екосистеми характеризуються високим рівнем фітотоксичності ґрунтів. Існує також проблема забруднення природних екосистем лікарськими препаратами, зокрема антибіотиками. Аналіз сучасного стану досліджень біоіндикаційними методами засвідчує, що забруднення вкрай негативно впливає на всі компоненти екосистеми, зокрема на функціонування мікробіому ґрунту, під час розкладання відходів виділяються токсичні сполуки, звалища стають місцем існування та розмноження патогенних мікроорганізмів. Динаміка змін в мікробіоценозі ґрунтів засвідчує поширення антибіотикорезистентних мікроорганізмів. Сучасний підхід до оцінювання якості об'єктів навколишнього природного середовища має бути заснований на принципі збалансованого функціонування екосистеми і враховувати взаємозв'язок компонентів біоценозу та їхню взаємодію з ґрунтовим і водним середовищем. Діагностика та оцінювання екологічного стану ґрунту є невід'ємною складовою під час проведення комплексних досліджень стану об'єктів навколишнього природного середовища. Ґрунт як середовище існування живих організмів, містить дуже складні біоценози, що зумовлює протікання складних процесів на біофізичному, біохімічному рівнях і на рівнях внутрішньо- і міжпопуляційної взаємодії. Тому не завжди можливо передбачити реакцію біоти на забруднення. На основі аналізу літературних джерел у статті наведена сучасна інформація щодо впливу різних типів забруднення на природні екосистеми та їх негативних наслідків. *Ключові слова:* ґрунт, біоіндикація, мікроорганізми, фітотоксичність, флора, антибіотикорезистентність, екологічна безпека, забруднення.

Environmental assessment of transformed ecosystems in the Carpathian region. Hafiak O., Symochko L.

In modern conditions, one of the most widespread environmental problems in the Carpathian region is the appearance of a significant number of unauthorized landfills, and insufficient study of their negative impact on natural ecosystems. Studies of such local landfills have shown that a significant part of them is concentrated within forest ecosystems, not far from water bodies. Wastewater from landfills is toxic and pollutes groundwater and rivers. The atmosphere is polluted with gaseous substances formed during the decomposition of dumped materials. Harmful substances are absorbed by the root system of plants. In polluted areas, changes in phytocenoses are observed, namely the appearance of invasive species of plants and weeds. Transformed ecosystems are characterized by a high level of soil phytotoxicity. The problem of contamination of natural ecosystems with drugs, in particular antibiotics, has been identified. Analysis of the current state of research using bioindicative methods proves that contamination has an extremely negative effect on all components of the ecosystem, in particular on the functioning of the soil microbiome, during the decomposition of waste, toxic compounds are released, landfills become a place for the existence and reproduction of pathogenic microorganisms. The dynamics of changes in soil microbocenosis testifies to the spread of antibiotic-resistant microorganisms. The modern approach to assessing the quality of environmental objects should be based on the principle of balanced functioning of the ecosystem and take into account the interrelationship of the components of the biocenosis and their interaction with the soil and water environment. Diagnostics and assessment of the ecological state of the soil is an integral part of conducting complex studies of the state of environmental objects. The soil, as a habitat for living organisms, contains very complex biocenoses, which causes complex processes to occur at the biophysical, biochemical levels, and at the levels of intra- and inter-population interaction. Therefore, it is not always possible to predict the reaction of a biotic component to pollution. Based on the analysis of literary sources, the article provides current information on the impact of various types of pollution on natural ecosystems and their negative consequences. *Key words:* soil, bioindication, microorganisms, phytotoxicity, flora, antibiotic resistance, environmental safety, contamination.

Постановка проблеми. Пришвидшення технічного прогресу нині призводить до значного поширення забруднення довкілля, що наразі сягнуло глобальних масштабів. Все це зумовлює посилення актуальності вивчення даної проблеми. Одним з найважливіших питань розвитку сучасної держави є сформований комплекс заходів з вирішення екологічних проблем, що спрямований на забезпечення соціально-економічного розвитку країни. Щоразу

вимоги до якісних характеристик навколишнього природного середовища, на тлі постійного антропогенного навантаження, зумовлюють необхідність здійснення відповідних наукових досліджень, дискусій та законодавчого закріплення екосистемного підходу.

Актуальність дослідження. Через гірський рельєф, високу щільність населення, сусідство з 4 країнами Євросоюзу, єдиний водний басейн

р. Тиса, заповідність території, ряд населених пунктів області позбавлені можливості вибору земельних ділянок під сміттєзвалища. Це стосується міст Рахів, Тячів, та майже всіх сільських населених пунктів гірських районів [1]. Внаслідок цього кількість та площі несанкціонованих сміттєзвалищ систематично зростають, спричиняючи негативний вплив на лісові екосистеми та їх складові, екологічний стан ґрунтів і водних об'єктів, що становить загрозу для здоров'я людини та навколишнього природного середовища, а саме відбуваються незворотні процеси деградації природних екосистем [2–6].

Варто зазначити, що несанкціоновані сміттєзвалища значною мірою визначають санітарно-епідеміологічне благополуччя населених пунктів, тому потребують особливої уваги. Забруднення ґрунту тісно пов'язане із забрудненням ґрунтових і поверхневих вод, у тому числі тих, що використовуються для питних потреб. Діагностика та оцінка екологічного стану ґрунту є складовою частиною комплексного дослідження стану довкілля [7]. Сучасний підхід до оцінки екологічного стану довкілля базується на принципі збалансованості функціонування екосистем і враховує взаємозв'язок компонентів біоценозу та їх взаємодію з ґрунтовим середовищем, оскільки перебудова функціональної структури ґрунтового мікробіому внаслідок впливу екзогенних факторів зумовлює зміну спрямованості мікробіологічних процесів [8, 9].

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконувались у межах науково-дослідних тематик: «Еколого-мікробіологічний моніторинг різних типів екосистем Карпатського регіону», НДР № 0116U003331, (2015–2018); «Біомоніторинг наземних і водних екосистем в умовах змін клімату» НДР № 0119U102623, (2020–2023).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стратегією сталого розвитку природи і суспільства, яка закріплена у Конвенції про охорону біологічного різноманіття (Ріо-деЖанейро, 1992), а також визначена у Всеєвропейській стратегії збереження біологічного та ландшафтного різноманіття та на Конференції зі сталого розвитку (Йоганнесбург, 2002) і, задля її досягнення, передбачається створення Пан'європейської екологічної мережі, яка у свою чергу, має заповнюватися на національному, регіональному та локальному рівнях [10]. Рамковою конвенцією про охорону та сталий розвиток Карпат визначено низку пріоритетних завдань у забезпеченні збереження та відновлення унікальних природних комплексів Карпат, зокрема збереження та сталого використання біологічного та ландшафтного різноманіття, запобігання негативному впливу на гірські екосистеми тощо [11, 12]. Проте, серед поширених екологічних проблем в Карпатському регіоні є поява значної кількості несанкціонованих сміттєзвалищ, які є джерелом найрізноманітніших шкідли-

вих речовин. Ці речовини всмоктуються кореневою системою рослин, що може вплинути негативно на якість ягід чи плодів. Виникнення несприятливих умов для функціонування місцевої флори призводить до її поступової трансформації, що сприяє появі інвазійних видів та поширенню бур'янів [12]. Новоутворені сміттєзвалища негативно впливають на лісові екосистеми та їх складові, особливо небезпечним є порушення санітарного стану ґрунтів і водних об'єктів, що становить загрозу не тільки для довкілля, але й для здоров'я населення. В процесі розкладу відходів, виділяються токсичні сполуки, що негативно впливають на всі живі організми. Сміття та прилеглий ґрунт стають середовищем існування та розмноження патогенних мікроорганізмів [12, 13].

Дослідження Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Патики В.П. показали, що зміни у структурі мікробного угруповання ґрунту і перерозподіл основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів можуть відбуватися в результаті забруднення. Зокрема виявлено підвищений вміст оліготрофних мікроорганізмів та мікроміцетів у забруднених ґрунтах трансформованих екосистем [14, 15]. Раніше вивчаючи мікробні ценози в ґрунті впродовж багатьох років Звягінцев Д.Г. (1978, 1987, 1999), Іутинська Г.О. (1993, 1998, 2006), Хазієв Ф.Х. (2005, 2011), Nannipieri P. (2003, 2017), Scow K. (2009, 2014) Патики В.П. (2002, 2015, 2016), Симочко Л.Ю. (2015, 2018, 2021) у своїх працях зазначають, що не лише забруднення, але і зміни клімату також можуть змінювати структуру та метаболічну активність ґрунтових мікроорганізмів, їх стійкість до дії екологічних чинників, що може негативно позначитися на органічній речовині ґрунту, призвести до активізації процесів її деструкції в умовах змін клімату та антропогенного навантаження [16, 17, 18]. Дослідження Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С. доповнюють сучасні уявлення про стан та активність мікробіоценозу різних типів ґрунту залежно від впливу абіотичних і антропогенних чинників. Отримані дані служать основою для створення відповідної бази даних та розроблення єдиних уніфікованих критеріїв оцінювання екологічного стану ґрунту агроекосистем та природних екосистем в умовах зміни клімату. Оскільки склад мікробіоценозу ґрунтів достатньо лабільний, змінюється не тільки за географічною зональністю, а й залежно від пори року, наявних гідротермічних умов, глибини відбору зразків ґрунту, характеру рослинності, ступеня використання ґрунтів у сільському господарстві, зрошення, внесення мінеральних і органічних добрив, інших факторів. Значний вплив на формування мікробіоценозу справляє рослинний покрив. Ця дія проявляється залежно від ступеня розвитку кореневої системи та кількості опадів. Саме ці фактори відіграють вирішальну роль у формуванні функціональної структури мікробіоценозу, яку розглядають як сукупність зв'язків між мікро-

організмами, що здійснюють різні функції у біогеоценозі, а також між ними та навколишніми біотичними й абіотичними факторами [9, 12, 19, 20, 21]. Патики В.П. доводить, що бактерії змінюють ґрунтове середовище таким чином, що воно стає більш сприятливим для проростання одних і менш сприятливим для розвитку інших культур. Коли формуються рослинні угруповання, до ґрунту надходять різні типи органічних речовин і змінюються види поживних елементів, доступні бактеріям. Змінена спільнота бактерій своєю чергою змінює структуру ґрунту і середовище для проростання рослин. Деякі дослідники вважають, що є можливість контролювати на окремі ділянки популяції видів рослин, керуючи спільнотою ґрунтових бактерій [22, 25].

Крім позитивних взаємовідносин, між бактеріями та рослинами можуть виникати й негативні. Бактерії, що паразитують на рослинах, називають фітопатогенами. Види фітопатогенних бактерій є серед аеробних та факультативно-аеробних грам-негативних паличок (*Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, *Agrobacterium* та ін.), а також серед грам-позитивних корінеформних бактерій і мікоплазм. Як і патогени тварин, патогени рослин мають фактори патогенності, що дозволяють їм перемагати захисні бар'єри рослин [27, 28].

Небезпечними для довкілля є і несанкціоновані сміттєзвалища в природних екосистемах. Дослідження мікробіологічного стану ґрунтів сміттєзвалищ показало зміни у структурі мікробного угруповання ґрунту і перерозподілу основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів. Зокрема виявлено підвищений вміст оліготрофної і педотрофної мікробіоти [29, 30].

Також виявлено високу чисельність бактерій, що використовують азот мінеральних сполук та зниження чисельності стрептоміцетів і азотфіксуючих мікроорганізмів порівняно з ґрунтом природної екосистеми. Встановлено, що в ґрунті сміттєзвалищ зростає чисельність педотрофних і оліготрофних мікроорганізмів та мікроорганізмів, які асимілюють органічні форми азоту, у середньому в 2,70, 2,84 і 1,48 рази, що відповідно вплинуло на спрямування перебігу основних мікробіологічних процесів. За наявності органічних відходів (наприклад, рештки продуктів харчування) зростає коефіцієнт мінералізації іммобілізації (K_m-i) на 12,4–27,1%, завдяки активному розмноженню мікроорганізмів, які засвоюють мінеральні форми біогенних елементів та виконують іммобілізаційну функцію мікробного ценозу [30, 33, 35].

Отже, відбуваються зміни в мікробному ценозі ґрунту за безпосереднього впливу несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ, а саме збільшення чисельності органотрофних бактерій і мікроміцетів, зменшення корисних азотфіксуючих мікроорганізмів. При цьому зростає напруженість процесів мінералізації, іммобілізації, оліготрофності та розкладання орга-

нічної речовини ґрунту, та впливає на рівень фітотоксичності ґрунту [29, 30].

Тривале складування різноманітних побутових відходів, які піддаються процесам гниття, бродіння, розкладу та випаровування під впливом атмосферних явищ дуже небезпечно для довкілля. Забруднення негативно впливає на всі складові екосистеми, зокрема на функціонування ґрунтового мікробіому, оскільки під час розкладу відходів виділяються токсичні сполуки, звалища стають середовищем існування та розмноження багатьох патогенних мікроорганізмів. Зокрема, фітотоксичними властивостями володіють бактерії роду *Bacillus* та *Bacterium*. Більшість ґрунтових мікроміцетів також здатні продукувати фітотоксини: *Aspergillus fumigatus* продукує геліфолієву кислоту, мікроміцети роду *Penicillium* – па тулін, *Trichoderma* – вірідин [29, 34]. Крім того, токсичні сполуки, які продукують ґрунтові мікроорганізми, можуть впливати на рослинні клітини, їх хімічний склад, перебіг фізіолого-біохімічних процесів у рослинах, що може призвести до трансформації флори в природних екосистемах. Будь-яке антропогенне втручання в екосистеми віддзеркалюється на ґрунтового середовищі – порушується структура ґрунту, його фізичні, хімічні і біологічні властивості. Забруднення ґрунтів також тісно пов'язано із забрудненням підземних і поверхневих вод, у т.ч. і тих, які використовують для господарсько-питних потреб [29, 30].

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 ґрунтовым середовищем. Діагностика та оцінювання екологічного стану ґрунту є невід'ємною складовою під час проведення комплексних досліджень стану об'єктів навколишнього природного середовища. Ґрунт як середовище існування живих організмів, містить дуже складні біоценози, що зумовлює протікання складних процесів на біофізичному, біохімічному рівнях і на рівнях внутрішньо- і міжпопуляційної взаємодії. Тому не завжди видається можливим передбачити реакцію біотичного складника на забруднення. Як зазначає академік НААН В. Патики, перспективними інтегральними методами дослідження стану навколишнього природного середовища є методи біотестування та біоіндикації, що ґрунтуються на зворотній реакції живих організмів на негативний вплив забруднюючих речовин, саме вони здатні надати достовірну інформацію про якість компонентів навколишнього середовища, зокрема ґрунтів. Методи біотестування дають змогу в доволі короткі терміни отримати інтегральну оцінку токсичності ґрунтів, що доцільно застосувати під час моніторингових досліджень [19, 20, 29, 30].

Забруднення ґрунту прямо пов'язано з забрудненням води. Вчені зазначають, що якість води визнача-

ється, перш за все, загальною кількістю виявлених у ній мікроорганізмів [30].

Таким чином, мікроорганізми – важлива функціональна складова біогеоценозів біосфери. Це первинна ланка в утворенні всіх системних зв'язків у біосфері. Мікроорганізми замикають біологічний кругообіг, розкладаючи органічні рештки, створюючи умови для живлення наземних і водних екосистем, обумовлюють утворення природної кормової бази для багатьох гетеротрофів, беруть участь у формуванні донних відкладень, створенні біологічного контролю над розвитком біокомпонентів екосистеми, збалансовують, урівнюють можливості для існування всіх організмів у довкіллі. Важливим аспектом є вивчення впливу забруднення водою на мікробіом ґрунту прилеглих територій, видовий склад фітоценозів та визначення рівня трансформації екосистем [12, 16, 31].

Серйозну небезпеку для довкілля становить і забруднення стічними водами. За даними Асоціації «Health Care Without Harm» в середньому очисні споруди видаляють тільки близько 80 відсотків фармацевтичних речовин та їх залишків. Навіть використання найсучасніших методів очищення не дозволяє повністю запобігти забрудненню: у очищеній стічній воді залишається до 10 відсотків препаратів. Установлено, що активний мул очисних споруд може акумулювати токсичні речовини, у тому числі, антибіотики. Тому важливим завданням є усунення впливу залишків стійких фармацевтичних препаратів антибіотиків на довкілля шляхом їх знешкодження (інактивації), а враховуючи відсутність очисних споруд, важливо дослідити ступінь забруднення та спланувати комплекс заходів, які допоможуть зменшити негативний їх вплив на природні екосистеми [18].

Всесвітня організація охорони здоров'я випустила нові керівні принципи щодо використання медично важливих антимікробних препаратів для тварин, рекомендуючи фермерам та харчовій промисловості припинити регулярне використання антибіотиків для сприяння росту та запобігання захворювань здорових тварин, що в свою чергу допоможе зберегти ефективність антибіотиків, важливих для людської медицини, зменшуючи їхнє використання для тварин. У деяких країнах приблизно 80% від загального споживання медично важливих антибіотиків припадає на тваринницький сектор, в основному для сприяння росту здорових тварин [12, 18, 19].

Надмірне використання антибіотиків у тваринництві призводить до того, що бактерії мутують і пристосовуються – антибіотики перестають діяти. Резистентність або стійкість до антимікробних препаратів вважається серйозною загрозою для людей та тварин у майбутньому, а зростаючий рівень стійких бактерій може збільшити кількість інфекційних захворювань. Регулярне вживання антибіотиків, які присутні у м'ясі птиці, свинини, яловичини, індички та риби, сприяє виникненню антибіотикорезистент-

ності (стійкості до ліків), а також може стати причиною зниження імунітету, порушення обміну речовин, алергічних реакцій, появи набряків, дерматиту, дисбактеріозу. Майбутнє без ефективних антибіотиків суттєво змінить якість життя сучасної людини. За даними досліджень 700 000 людей у всьому світі помирають від бактеріальних інфекцій щороку, оскільки антибіотики вже не ефективні. Якщо не вживати рішучих дій, щорічна глобальна смертність від стійких до антибіотиків інфекцій сягатиме 10 мільйонів осіб до 2051 року. Оцінка екологічного ризику для природних екосистем і здоров'я населення від впливу забруднення ґрунту та води внаслідок несанкціонованих сміттєзвалищ, є актуальною та потребує більш глибокого аналізу [9, 18, 19].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Навіть найменші сміттєзвалища зведені без комплексу заходів, що знижують їх негативний вплив на навколишнє середовище, в природних екосистемах, є значним джерелом забруднення. Відходи, що там розміщені, зазнають складних фізико-хімічних та біохімічних змін під впливом атмосферних явищ, специфічних умов, що формуються у товщі відходів, а також в результаті взаємодії між собою. Це призводить до утворення різних сполук, в тому числі токсичних, які, мігруючи до навколишнього середовища, негативно впливають на всі його компоненти. Важливо дослідити рівень екологічної безпеки трансформованих екосистем користуючись сучасними, комплексними методами дослідження стану навколишнього середовища.

Новизна. В роботі наведено результати власних досліджень, а також проведено збір та аналіз даних з літературних джерел, щодо питання впливу на природні екосистеми різного роду забруднення, спричиненого появою несанкціонованих сміттєзвалищ. Спостерігається їх негативний вплив на мікробіоту ґрунту і води. Встановлено зміни в мікробному ценозі ґрунту за безпосереднього впливу несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ, а саме збільшення чисельності органотрофних бактерій та мікроміцетів і зменшенням корисних азотфіксувальних мікроорганізмів, поява та поширення стійких до антибіотиків мікроорганізмів. В досліджуваних ділянках також спостерігається поширення інвазійних видів рослин.

Викладення основного матеріалу. Втрата біорізноманіття в усьому світі відбувається швидкими темпами і з минулого століття це питання все частіше постає не тільки як констатація факту і його підтвердження, але також розробляються різні підходи, інструменти і методи його вирішення, як у наукових працях, так і у багатьох політичних рішеннях. Господарська діяльність людини протягом тисячоліть впливає на природу і ландшафт, руйнуючи і змінюючи його, але саме в ХХ столітті, особливо на рубежі третього тисячоліття,

антропогенна дія різко зростає. Практично усі зміни рослинності, що відбуваються в сучасний період, носять синантропний характер. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. зазначають, що сьогодні процес синантропізації набув масштабу, коли є усі підстави говорити про антропогенну еволюцію екосистем. Синантропізація є одним із найбільш чітко виражених наслідків впливу людського фактору на природну флору взагалі та на регіональну зокрема. Внаслідок синантропізації відбувається поступова деаборигенізація місцевої флори й втрата нею своїх специфічних особливостей [12, 13, 31].

Серед адвентивних видів виділяють групу рослин, які володіють надзвичайно інтенсивними способами розмноження у вторинному ареалі і високим ступенем натуралізації. Їх називають інвазійними видами. Серед них розрізняють рослини-трансформери, які на значних площах можуть змінювати особливості екосистеми. Входження (інвазії) агресивних чужорідних видів рослин є частиною глобальних змін у біосфері, які супроводжуються втратою біорізноманіття. Інвазійні види призводять до глибоких екологічних наслідків, спричиняючи втрату не лише рідкісних та реліктових видів, а й типових представників природної флори. Нині доведено, що інвазії рослин можуть перешкоджати sukcesивним процесам на певних територіях, блокуючи наступність фаз їх розвитку та спричиняючи зникнення просторово домінуючих рослинних угруповань та трансформацію природних ландшафтів, створюючи моно домінантні насадження. В той же час широкомасштабні інвазії розглядаються як ознака екологічної кризи певної території, що приводять до зниження потенціалу її самовідновлення. Таким чином, рослини-трансформери – це адвентивні види, поява яких на конкретній території не пов'язана з процесами природного флорогенезу, які виступають едифікаторами та віолентами, утворюють моно домінантні угруповання, змінюють характер вихідного фітоценозу, змінюють sukcesивний ряд, перешкоджають відновленню видів вихідних угруповань [12, 13, 31]. В ділянках несанкціонованих сміттєзвалищ спостерігаємо поширення таких інвазивних видів рослин як Рудбекія розсічена (*Rudbeckia laciniata* L.), Мишій сизий (*Setaria pumila*), Золотушник канадський (*Solidago canadensis* L.) та Золотушник пізній (*Solidago gigantea*), Щириця звичайна (*Amaranthus retroflexus*), Амброзія полилиста (*Ambrosia artemisiifolia* L). Окрім інвазійних видів, навколо таких локальних сміттєзвалищ також аборигенну флору змінюють бур'яни, такі як Лопух звичайний (*Arctium lappa*), Жабрій ладаний (*Galeopsis ladanum* L.), Капуста польова (*Brassica campestris*), Щириця біла (*Amaranthus albus* L.), Перстач гусячий (*Argentina anserina* L.), Якірці сланкі (*Tribulus terrestris*), Лобода біла (*Chenopodium album*) та інші [12, 13, 31].

Отримані результати дослідження відібраних зрізів ґрунту свідчать, що рівень фітотоксичності

ґрунту в зоні накопичення ТПВ є доволі значним і безпосередньо залежить від площі, морфологічного складу та тривалості складування ТПВ. Вивчення мікробіологічного стану ґрунтів полігонів показало зміну структури ґрунтового мікробіому та перерозподіл основних еколого-трофічних і таксономічних груп мікроорганізмів. Зокрема, зростає кількість органотрофних бактерій і мікроміцетів. Мікроміцети виявилися більш конкурентоспроможними з високою пристосованістю до умов середовища. Водночас представники цих груп мікроорганізмів мають високий ступінь токсичності, що визначає токсичність ґрунту. Також спостерігався бурхливий розвиток бактерій, які використовують мінеральні сполуки азоту в 1,4–2,2 рази та зменшення чисельності стрептоміцетів на 8–59% та азотфіксуючих мікроорганізмів на 18–60% порівняно з ґрунтом природної екосистеми. Особливо відчутними ці зміни були в урочищах, де тривалість накопичення ТПВ становила 22 та 16 років відповідно. Встановлено, що кількість педотрофних та оліготрофних мікроорганізмів та мікроорганізмів, що засвоюють органічні форми азоту, у ґрунті полігонів зростає в середньому в 2,70, 2,84 та 1,48 рази, що, відповідно, вплинуло на спрямованість основних мікробіологічних процесів [32, 33, 36, 39].

За наявності органічних відходів мінералізація-імобілізація зростає на 12,4–27,1% за рахунок досить активного розмноження мікроорганізмів, які засвоюють мінеральні форми біогенних речовин і виконують імобілізуючу функцію мікробоценозу. Під час проведення досліджень обирали сміттєзвалища, які знаходяться приблизно на однаковій висоті над рівнем моря, оскільки за результатами проведених експериментальних досліджень науковців Симочко Л.Ю., Цікун Т.В., Симочко В.В. – чисельність представників основних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів варіює в залежності від висоти розташування лісових масивів. З збільшенням висоти кількість амоніфікаторів та бактерій, що використовують мінеральний азот, зменшується, а чисельність оліготрофів та педотрофів поступово зростає. Показники оліготрофності та педотрофності ґрунту букових пралісів є невисокими порівняно з показниками ґрунтів антропогенно змінених екосистем. Із збільшенням абсолютної висоти коефіцієнти педотрофності та оліготрофності ґрунтів в масивах букових пралісів збільшуються, що пов'язано з певними sukcesивними змінами мікробного ценозу ґрунту у відповідності до змін факторів навколишнього середовища [12, 16, 36]. Високі значення коефіцієнта оліготрофності в ґрунті полігонів свідчать про зниження вмісту поживних речовин у ґрунті. Так само підвищувався педотрофний коефіцієнт ($C_{\text{пед.}} = 0,55–0,96$). У ґрунті полігонів зафіксовано на 28–23% порівняно з ґрунтом заповідника, що свідчить про активізацію процесів розкладання органічної речовини ґрунту, в тому числі гумусо-

вих сполук. Важливим показником екологічного стану ґрунту є його фітотоксичність – інформативний показник, який рекомендовано використовувати при оцінці антропогенного впливу на ґрунтове середовище. Отримані результати показують, що рівень фітотоксичності ґрунту в зоні накопичення досить значний і безпосередньо залежить від морфологічного складу та тривалості зберігання [32, 33, 37].

Виявлено тісний зв'язок між рівнем фітотоксичності ґрунту та тривалістю зберігання відходів та морфологічним складом ТПВ. Найнижчий рівень фітотоксичності ґрунту порівняно з контролем та ґрунтом заказника виявлено на території найменшого полігону ТПВ та з найменшим терміном складування ТПВ. Тут переважають вторинні побутові відходи, що свідчить про низьке екологічне навантаження на територію полігону та, ймовірно, зумовлено віддаленістю від населених пунктів та періодичним розміщенням відходів. Тоді як у ґрунті сміттєзвалищ інших масивів, де побутові відходи складуються давно та на значній площі, індекс фітотоксичності є значним (50–81%) і свідчить про високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та підвищений екологічний ризик у зоні несанкціонованого накопичення ТПВ [33, 37].

Річки та струмки Карпатського біосферного заповідника здебільшого чисті та незабруднені. Їх води мають сприятливий санітарно-біологічний режим, гідрохімічні та мікробіологічні показники, кисневий режим (понад 100% насичення киснем), низький ступінь сапробності (гниття). Часто вода відповідає питним якостям, тому її використовують для пиття, хоча санепідеміологи цього не рекомендують. Проте постійне забруднення негативно впливає на водні екосистеми в цілому. Результати мікробіологічного дослідження мікробіоти води показали, що мікроорганізми води дуже чутливі до забруднення. Рід *Clostridium* включає психрофільні, мезофільні та термофільні види. Основна роль цих організмів у природі полягає в розкладанні органічних матеріалів до кислот, спиртів та мінералів. Часто маслянокислий запах пов'язаний з розмноженням клостридій. Здатність утворювати спори, стійкі до сухості, тепла та аеробних умов сприяє їх поширенню. Більшість видів є облигатними анаеробами, хоча існує толерантність до кисню. Чутливість до кисню обмежує середовище проживання клостридій. Тому клостридії, що ростуть і діляться, не можна знайти в насичених повітрям поверхневих шарах озер і річок або на поверхні органічного матеріалу та ґрунту. Спори клостридій, однак, з високою ймовірністю присутні в цих середовищах і проростуть, коли кисень буде вичерпано та коли будуть присутні відповідні поживні речовини. Зокрема, чисельність грам-позитивних бактерій роду *Clostridium* найбільше зафіксована в найбільш забруднених ділянках. Особливої уваги потребує здатність бактерій, що присутні у стічних водах, забруднювати воду в колодязях

поблизу. Важливим джерелом забруднення поверхневих і підземних вод є стоки з сільськогосподарських і пасовищних угідь, звалищ і міських територій. Моніторинг мікробіологічних показників дозволяє оцінити негативний вплив забруднених територій на мікробіологічні угруповання джерельної води, особливо в місцях поблизу сміттєзвалищ і нижче за течією. Це може бути викликано фільтратом, який у великій кількості потрапляє зі звалищ у природні водойми під час випадання опадів [31, 33, 37].

Особливу небезпеку становлять стійкі до антибіотиків мікроорганізми, які разом з біопродукцією можуть потрапляти в організми людини і тварин із наземних екосистем. Структура мікробних угруповань ґрунту взаємопов'язана з наявністю стійких до антибіотиків патогенних мікроорганізмів. У ґрунті екосистем, де кількість педотрофів та оліготрофів була більшою, виділено більшу кількість антибіотикорезистентних мікроорганізмів. *Clostridium perfringens* (стійкий до тетрацикліну, рифампіцину, амоксициліну, помірно чутливий до ванкоміцину), *Clostridium difficile* (чутливий до метронідазолу). Тим не менш, збагачення клостридіями ґрунту, який постійно оброблявся гноєм, може бути небезпечним для здоров'я населення, ці бактерії філогенетично тісно пов'язані з патогенними мікроорганізмами людини, отже можливе підвищення ймовірності передачі генів стійкості до антибіотиків патогенним мікроорганізмам людини, оскільки горизонтальний перенос генів більш поширений між близькоспорідними організмами, ніж між віддаленими [34, 35, 37].

Слід зазначити, що ґрунт із високою концентрацією антибіотика характеризується низьким вмістом азотфіксуючих мікроорганізмів та високою чисельністю оліготрофної та споруутворюючої мікробіоти. З ґрунту були виділені бактерії, стійкі до всіх досліджуваних антибіотиків. Це були представники аеробної мікробіоти: *Bacillus licheniformis*, *Serratia fonticola*, *Hafnia alvei*, *Bacillus cereus*, *Pantoea agglomerans*, *Bacillus megaterium* та анаеробні бактерії – *Clostridium difficile*. У природних умовах із ґрунту модельних екосистем були виділені переважно бактерії роду *Bacillus*. Усі вони стійкі до антибіотиків, є збудниками харчових інфекцій і несуть загрозу не лише навколишньому середовищу, а й здоров'ю людей. Присутність енрофлоксацину в ґрунті, особливо у високих концентраціях, викликає негативні зміни в мікробному співтоваристві, значно збільшується кількість антибіотикорезистентних бактерій, втрачається стабільність і цілісність ґрунтового мікробіому. Забруднення антибіотиками є одним із важливих факторів формування резистентного ґрунту. Одним із важливих показників еколого-санітарного стану ґрунту і всієї екосистеми є наявність умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів. Забруднення антибіотиками негативно впливає на мікробіоценози, фітоценози та зооценози

природних екосистем. Останні дослідження доводять, що під час здійснення екологічної оцінки стану довкілля необхідно враховувати наявність антибіотикорезистентних мікроорганізмів [33, 34, 35].

Негативний вплив забруднення природних екосистем підсилюється змінами клімату, що є загрозою для Карпат. Протягом останніх десятиліть літні температури підвищилися в середньому на 2,4°C у деяких частинах Карпат із збільшенням частоти та інтенсивності хвиль спеки. Клімат має один із найбільших впливів на мікробну діяльність ґрунту [36, 39].

Очікується, що в майбутньому ліси зазнають значного тиску внаслідок зміни клімату. Ендогенна гетеротрофна сукцесія викликає збільшення біомаси оліготрофних бактерій і зменшення філогенетичного різноманіття. Різноманітність вказує на те, як змінювалися мікробценози під час сукцесії. Довготривалий моніторинг ґрунтового мікробіому дозволив визначити вплив зміни клімату на структурно-функціональні зміни мікробіому ґрунту в пралісах. Перебудова функціональної структури ґрунтового мікробіому внаслідок впливу екзогенних факторів зумовлює зміну спрямованості мікробіологічних процесів. Ґрунт лісових екосистем характеризувався відносно низьким рівнем фітотоксичної активності. Вивчення автентичної ґрунтової мікробіоти створює необхідні передумови для збереження мікробного різноманіття та формування основи еколого-мікробіологічного моніторингу [37, 38, 39, 41].

Діяльність людини значно впливає на мікробіом ґрунту в наземних екосистемах. Антропогенне поширення антибіотиків та їхніх метаболітів може значно змінити склад і функцію ґрунтового мікробіому особливо в трансформованих екосистемах. Крім того, ці екосистеми є гарячими точками для появи та поширення резистентності ґрунту. У забруднених ґрунтах зростає не лише кількість антибіотикорезистентних бактерій, а й рівень їх стійкості до існуючих антибіотиків. Лісові екосистеми характеризуються високим функціональним біорізноманіттям, стійкістю, і невеликою кількістю стійких до антибіотиків бактерій і хвороботворних мікроорганізмів.

Структура ґрунтового мікробіому залежить від рівня трансформації та забруднення екосистем. Стійкі до антибіотиків бактерії також існують у природних (лісових) екосистемах, на які людина безпосередньо не впливає, але їх кількість значно менша, а стійкість до антибіотиків нижча. У таких екосистемах оліготрофність мікробіому значно нижча, а стабільність вища. Скринінг умовно-патогенних і патогенних мікроорганізмів у ґрунті доводить, що наземні екосистеми є джерелом поширення патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів, стійких до антибіотиків [39, 40, 41, 43].

Головні висновки. Потрібні ефективні стратегії управління, розробка нових технологій для виявлення та моніторингу трансформованих екосистем, щоб звести до мінімуму ризику для довкілля, оскільки на даних територіях зафіксовано зміни рослинності, в основному тут поширені бур'яни та інвазійні види рослин, які місцями повністю витіснили аборигенну флору. Також визначено значний вплив на якість ґрунту та води поблизу таких ділянок. Зафіксовано зміни у мікробіомі ґрунту під безпосереднім впливом забруднення, а саме збільшення кількості оліготрофних бактерій і зменшення вмісту нітрогенфіксуєючих мікроорганізмів. При цьому підвищується інтенсивність мінералізації-імобілізації, оліготрофності та розкладання органічної речовини ґрунту. Встановлено, що існує тісний зв'язок між тривалістю зберігання ТПВ на певній території та рівнем фітотоксичності ґрунту. У ґрунті деяких сміттєзвалищ індекс фітотоксичності є значним (понад 50%), що свідчить про високий рівень забруднення ґрунтової екосистеми та підвищення екологічних ризиків у зоні несанкціонованого накопичення ТПВ. Дестабілізація природних ландшафтів і екологічних систем також значною мірою пов'язана із забрудненням водних екосистем, розташованих у зоні впливу сміттєзвалищ.

Перспективи використання результатів дослідження. Представлені дані дозволяють виокремити критерії для оцінки екологічного стану трансформованих екосистем та розробити план заходів спрямованих на їх відновлення.

Література

1. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23.05.2017 № 2059-VIII (Редакція станом на 13.05.2022) Верховна Рада України; URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 02.08.2023).
2. Бороніна Г.Г. Екологічні проблеми Закарпатської області та шляхи їх розв'язання на засадах сталого розвитку. *Економіка та суспільство*. 2017. Вип. 13. С. 905–909.
3. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population / S. Delehan-Kokaiko та ін. *Environmental safety and natural resources*. 2020. Т. 34, № 2. С. 43–52. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52> (дата звернення: 02.08.2023).
4. Effect of landfill sites on disease and disease distribution among rural population / S. Delehan-Kokaiko та ін. *Environmental safety and natural resources*. 2020. Т. 34, № 2. С. 43–52. URL: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.2.43-52> (дата звернення: 02.08.2023).
5. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя. Звернення Комісії до Європейського Парламенту, Ради, Європейського Економічно-Соціального Комітету та Комітету Регіонів (неофіційний адаптований переклад українською) / пер. з англ. О. Осипенко; ред. та адапт. А. Куземко та ін. Чернівці : Друк Арт, 2020. 36 с.

6. Наумовська О.І. Екологічний аналіз стану ґрунтового покриву в умовах локального забруднення за утворення несанкціонованих сміттєзвалищ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер.: Біологія, біотехнологія, екологія*. 2015. Вип. 214. С. 200–206.
7. Симочко Л.Ю., Дем'янюк О.С., Симочко В.В. Біоіндикація і біотестування ґрунтів – сучасні методичні підходи. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер.: Біологія*. 2017. Вип. 42. С. 77–81.
8. Дем'янюк О.С., Симочко Л.Ю., Тертична О.В. Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології*. 2017. Вип. 22. № 1. С. 55–68.
9. Патики В.П., Симочко Л.Ю. Мікробіологічний моніторинг ґрунту природних та трансформованих екосистем Закарпаття України. *Мікробіологічний журнал*. 2013. Том 75. № 2. С. 21–31.
10. Симочко Л.Ю. Ферментативна активність ґрунту букових пралісових екосистем. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Букові праліси та давні букові ліси Європи: проблеми збереження та сталого використання» – Україна, м. Рахів., 2013. С. 289–293.*
11. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/998_164 (дата звернення: 02.08.2023).
12. Гафіяк О.В., Симочко Л. Ю. Інвазійна флора антропогенно трансформованих екосистем Карпатського регіону. *Екологічні науки*. 2023. № 47. С. 154–161.
13. Протопопова В.В., Мосякін С.Л., Шевера М.В. Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє. Київ : Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. 2002. 32 с.
14. Симочко Л.Ю., Єнінгі Р.І. Вплив важких металів на біологічну активність ґрунту придорожних урболандшафтів. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*. 2007. № 20. С. 60–63.
15. Carbon pool and biological activities of soils in different ecosystems / O. Demyanyuk та ін. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2019. Т. 9, № 1. С. 189–200. URL: <https://doi.org/10.31407/ijeec9122> (дата звернення: 03.08.2023).
16. Симочко Л.Ю., Цикун Т.В., Симочко В.В. Показники оліготрофності та педотрофності ґрунту пралісів Широколужанського масиву Карпатського біосферного заповідника. *Науковий Вісник Ужгородського університету. Сер. Біологія*. – 2008. – № 24. – С. 91-95.
17. Symochko L. Y., Kalinichenko A. V. Soil Microbiome of Primeval Forest Ecosystems in Transcarpathia. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*. 2018. Vol. 80, no. 3. P. 3–14. URL: <https://doi.org/10.15407/microbiolj80.03.003> (date of access: 03.08.2023).
18. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія. Київ: Арістей, 2006. 284 с.
19. Patyka V. P., Kyrychenko O. V., Kots S. Y. Screening and Selection of the Soil Microorganisms on the Ability of “Nitrogen-Fixing Activity”. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*. 2015. Vol. 77, no. 4. P. 2–7. URL: <https://doi.org/10.15407/microbiolj77.04.002> (date of access: 03.08.2023).
20. Boyko M. V., Patyka M. V., Patyka T. I. Estimation of productivity bacillus thuringiensis on different media. *Microbiology&Biotechnology*. 2017. No. 1(37). P. 16–22. URL: [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2017.1\(37\).96320](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2017.1(37).96320) (date of access: 05.08.2023).
21. Патики В.П., Симочко Л. Ю. Біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів трансформованих біогеоценозів. *Збірник наукових праць “Динаміка біорізноманіття 2012”* – Луганськ, 2012. С. 206–207.
22. Касіяничук Д. В. Оцінка екологічних ризиків для природної та техногенної складової екзогенних процесів Карпатського регіону : thesis. 2016. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/45> (дата звернення: 03.08.2023).
23. The Spreading of Antibiotic-Resistant Bacteria in Terrestrial Ecosystems and the Formation of Soil Resistome / L. Symochko et al. *Land*. 2023. Vol. 12, no. 4. P. 769. URL: <https://doi.org/10.3390/land12040769> (date of access: 03.08.2023).
24. Симочко Л.Ю., Домбай І.В. Фітотоксична активність ґрунту різних екосистем в умовах низинної частини Закарпаття. *Науковий вісник Волинського державного університету імені Лесі Українки*. 2007. № 5. С. 254–259.
25. Kennedy A. C., Gewin V. L. Soil microbial diversity: present and future considerations. *Soil Science*. 1997. Vol. 162, no. 9. P. 607–617. URL: <https://doi.org/10.1097/00010694-199709000-00002> (date of access: 03.08.2023).
26. The Spreading of Antibiotic-Resistant Bacteria in Terrestrial Ecosystems and the Formation of Soil Resistome / L. Symochko et al. *Land*. 2023. Vol. 12, no. 4. P. 769. URL: <https://doi.org/10.3390/land12040769> (date of access: 03.08.2023).
27. Lykov I. N., Sukhanova V. S. Screening of soil activity in different ecological systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 981, no. 2. P. 022060. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022060> (date of access: 03.08.2023).
28. Симочко Л.Ю., Симочко В.В. Інтегрованість мікробного ценозу ґрунту при антропогенному навантаженні. *Наукові записки державного природознавчого музею*. 2007. Вип. 23. С. 111–118.
29. Symochko L. Soil microbiome: diversity, activity, functional and structural successions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2020. Vol. 10, no. 2. P. 277–284. URL: <https://doi.org/10.31407/ijeec10.206> (date of access: 03.08.2023).
30. Симочко Л.Ю., Гафіяк О.В., Дем'янюк О.С. Біоіндикація ґрунту несанкціонованих сміттєзвалищ у Карпатському регіоні. *Агроекологічний журнал*. 2021. No. 2. С. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2021.234453> (date of access: 03.08.2023).
31. Антосяк Т.М., Козурак А.В., Волощук М.І. Історія вивчення флори вищих судинних рослин Карпатського біосферного заповідника. – *Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України*. 2018. № 1. С. 4–15.
32. Постосенко, В. О., Лазарева, Л. М., & Яремчук, О. С. Основні показники оцінки якості і безпечності меду бджолиного в Україні та їх гармонізація з вимогами ЄС. *Wscho-dnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. 2019. № 12(52). С. 14–21. (Warsaw, Poland). URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/23367.pdf> (дата звернення: 03.08.2023).
33. Клименко М.О., Прищепя А.М., Вознюк Н.М. – Моніторинг довкілля: підручник. Київ, 2006. 360 с.

34. Ольхович О.П., Мусієнко М.М. Фітоіндикація та фітомоніторинг: Метод. рек. / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ, 2005. 64 с.
35. Симочко Л.Ю. Антибіотикорезистентні мікроорганізми в агроекосистемах як чинник ризику для здоров'я людини. *Агроекологічний журнал*. 2017. № 2. С. 201–204.
36. Мальцев В.І., Карпова Г.О., Зуб Л.М. Визначення якості води методами біоіндикації: науково-методичний посібник – Київ, 2011. 112 с.
37. Яковлева Л.В., Баглай Т.О. Проблеми антибіотикорезистентності в Україні. *Фармакоэкономика в Україні: стан і перспективи розвитку: матеріали XI наук.-практ. інтернет-конф., м. Харків, 24 трав.* 2019 р. Харків: НФаУ, 2019. С. 134–135.
38. Symochko L., Bugyna L., Hafiyyak O. Ecological aspects of biosecurity in modern agroecosystems. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2021. Vol. 11, no. 1. P. 181–186. URL: <https://doi.org/10.31407/ijeess11.124> (date of access: 03.08.2023).
39. Patyka V., Symochko L. Soil microbiological monitoring of natural and transformed ecosystems in the Transcarpathian region of Ukraine. *Microbiol. Journal* 2013, 75 (2), pp. 21–31.
40. Hafiyyak O., Symochko L. Soil and water microbiota as bioindicators for the assessment ecological status of ecosystem. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12 (1). P. 305–312. DOI: <https://doi.org/10.31407/ijeess12.136> (date of access: 02.08.2023).
41. Симочко Л.Ю. Сукцесійна концепція мікробіому ґрунту. *Агроекологічний журнал*. 2020. No. 1. С. 39–46. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2020.201267> (дата звернення: 02.08.2023).
42. Tymoshchuk S., Symochko L. Spread of antibiotic-resistant bacteria in the environment. *Ecological Sciences*. 2020. Vol. 2, no. 2. P. 11–15. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.2> (date of access: 03.08.2023).
43. The Spreading of Antibiotic-Resistant Bacteria in Terrestrial Ecosystems and the Formation of Soil Resistome / L. Symochko et al. *Land*. 2023. Vol. 12, no. 4. P. 769. URL: <https://doi.org/10.3390/land12040769> (date of access: 03.08.2023).