

Бєдункова О. О., д.б.н., професор, Ціпан Ю. Р., аспірант
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua
y.r.tsipan@nuwm.edu.ua)

ҐРУНТОВА МЕЗОФАУНА ЯК ФАКТОР ФОРМУВАННЯ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТУ (ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ)

Проведено теоретичний огляд наукової літератури щодо стану вивченості питання впливу мезофауни на формування родючості ґрунту, з метою виявлення нових перспективних тенденцій при використанні цієї групи тварин у екологічних дослідженнях. Виявлено певну розбіжність у класифікації ґрунтової фауни за розмірними ознаками в різних наукових школах. Проаналізовано участь мезофауни в кругообігу речовин ґрунту та відомі механізми впливу цих тварин на родючість ґрунту. Відстежено вплив абіотичних факторів на різноманіття та активність мезофауни. З'ясовано, що в сучасних екологічних дослідженнях представники мезофауни виступають зручним і чутливим індикатором різноманітних змін властивостей ґрунту.

Ключові слова: екосистема; ґрунт; мезофауна; підстилка; родючість.

Постановка проблеми. Живі організми приймають активну участь у збалансуванні біогеохімічних процесів, які формують стійкість та різноманіття екосистем. Чисельні сучасні дослідження розглядають біорізноманіття наземних екосистем під впливом різноманітних чинників та дещо менше відомо за яким сценарієм відбуваються зміни біорізноманіття під землею. І хоча знання про склад і функції ґрунтової біоти швидко ростуть, одним з постійних наукових напрямків лишається інвентаризація та оцінка біорізноманіття тваринного населення ґрунту, адже його збереження є умовою здоров'я екосистеми ґрунту [1], а зрештою і стійкості біосфери та людського суспільства [2].

Мета і завдання дослідження. Метою даної статті було проведення теоретичного аналізу та об'єктивного розгляду питання впливу мезофауни на формування родючості ґрунту, а також виявлення нових перспективних тенденцій при використанні цієї групи тварин у екологічних дослідженнях.

Виклад основного матеріалу. Основними представниками біоти ґрунту є бактерії, актиноміцети, ґрунтові гриби та водорості, найпростіші одноклітинні організми, черви, дрібні тварини. Ґрунтова зоологія класифікує тварин за багатьма ознаками: розмірами, локацією у профілі ґрунту, екологічними властивостями ґрунту та ступенем зв'язку тварин з ґрунтом, характером живлення.

Класифікація ґрунтової фауни за різними ознаками. Аналіз літератури виявляє факт певної розбіжності в поділі ґрунтових тварин за розмірними ознаками. Так, згідно розмірної класифікації Романенко В.Н., ґрунтових тварин величиною до 0,1 мм називають нанофауною; від 0,1 до 1,5 мм – мікрофауною; тварин із розмірами від 1,5 до 20–30 мм – мезофауною; великі форми безхребетних, більші ніж 20–30 мм – макрофауною [3, С. 9]. Пахомов О.С., Кунах О.М. визначають нанофауну як тварин розміром до 0,2 мм, мікрофауну – 0,1–2 мм, мезофауну – від кількох міліметрів до кількох сантиметрів та макрофауну, – як великі форми безхребетних та всі ґрунтові хребетні тварини [4, С. 49]. У більш ранніх класифікаціях зустрічається віднесення таких дрібних тварин як коловертки до мезофауни і водночас існує думка, що такі види тварин як коловертки, нематоди та енхітреїди взагалі погано вписуються в класифікацію, а деякі крупні інфузорії можуть бути більшими за дрібні личинки кліщів [5, С. 4–5]. Очевидну складність розмірної класифікації підтверджує підхід до неї Звягінцева Д.В., Баб'євої І.П., Зєнкової Г.М. [6, С. 40], які наглядно представили відносну умовність такого поділу ґрунтових тварин (рисунок).

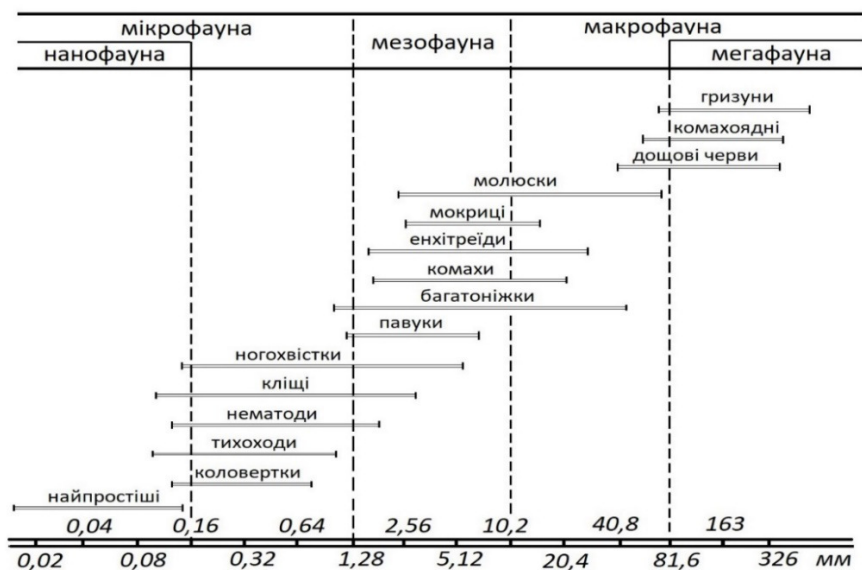


Рисунок. Розмірні групи ґрунтових тварин [6]

Достеменно відомо, що між розмірами тіла та загальною чисельністю представників різних розмірних груп існує зворотна кореляція, яка може мати майже пряму залежність [7], а також те, що кожна розмірна група приурочена до різних фаз ґрунту і складається з різних за характером живлення тварин [3; 6; 8]. Так, представники нанофауни – одноклітинні найпростіші, здатні вести активний спосіб життя лише у водному середовищі, а в ґрунті заселяють капіляри та водну плівку довкола ґрунтових часток. Представники мікрофауни – джгутикові, амеби, інфузорії, круглі черви, коловертки, тихоходи живуть у різних середовищах. При цьому, коловертки мешкають передусім у капілярній воді, а решта – в системі замкнених камер, де постійно підтримується висока вологість повітря. Більшість представників мезофауни – псевдоскорпіони, кліщі, багатоніжки, колемболи здатні переміщатись у ґрунті не лише у проміжках, але й розсувати часточки ґрунту. Представники макрофауни – дощовий черв, мокриця, жужилиця, медведка (капустянка), хрущ, здатні активно прокладати ходи в ґрунті, просуватись ними, або будувати в ґрунті свої гнізда та сховища [3, С. 9; 8, С. 121–124].

Згідно екологічної класифікації фауни ґрунту, розрізняють три основні групи тварин за ступенем зв'язку з ґрунтом: геобіонти – мешкають у ґрунті все життя (ґрунтові найпростіші, нематоди, багатоніжки, дощові черви, окремі групи комах, деякі комахоядні ссавці); геофіли – тварини в яких певна частина життєвого циклу обов'язково здійснюється у ґрунті (більшість комах, павукоподібні, деякі птахи та гризуни); геоксени – випадкові мешканці ґрунту, або тварини, які користуються ґрунтом тільки як притулком [3, С. 8; 4, С. 49; 6, С. 39].

Місце організмів у трофічних ланцюгах біотичних зв'язків визначає їх тип живлення, відповідно якого серед ґрунтових тварин розрізняють: фіто-, зоо-, некро- і сапрофагів. Найбільшу увагу при вивченні ролі тварин у перетворенні органічної речовини в ґрунті привертає екологічне угруповання, яке отримало назву сапрофільного комплексу [6, С. 42]. У цілому ж, відповідно докучаєвського вчення ґрунтоутворення, загальний еволюційний процес виникнення, формування, розвитку та функціонування ґрунту завдячує, сукупності біологічних факторів.

Участь мезофауни в кругообігу речовин ґрунту. Концептуально, вплив живих організмів на властивості та родючість ґрунтів проаналізовано і описано в багатьох працях вітчизняних та іноземних ґрунтознавців, екологів та зоологів, зокрема Докучаєва В.В., Виноградського С.М., Соколовського О.Н., Добровольського Г.В., Гілярової

М.С., Вільямса В.Р., Звягінцева Д.Г., Козловської Л.С., Стріганова Б.Р., Чернова Ю.І., Грішиної Л.О., Prusinkiewicz Z., Newell P.F., Nielson C.O., Mason C.F., Wallwork J.A., Bockckok K.L., Anderson F. та ін. видатних вчених.

Наукові підходи до вивчення цього питання неспинно розвиваються, вдосконалюються та набувають нового осмислення. Поглиблюються знання про взаємодію різних груп організмів, особливо мікроорганізмів та рослин, зоомікробних комплексів, асоціацій грибів з водоростями та бактеріями для нормального проходження біологічних процесів у ґрунтах. Відстежується роль біоти в охороні навколишнього середовища та забезпеченні стійкості наземних та ґрунтових екосистем [6; 9; 10]. На сьогодні беззаперечною є думка, що «... гармонізація функціонування біорізноманіття та різноманіття ґрунтів є головною умовою при вирішенні проблеми стійкості природних комплексів у цілому, збалансованого розвитку та забезпечення екологічної та продовольчої безпеки» [9].

На фоні багатофакторних взаємодій всіх складових ґрунту, значною мірою сприяють кругообігу речовин через прискорення розкладу рослинних решток [11, С. 115; 12], мінералізацію вуглецю [13] та стабілізацію інтенсивності мікробіологічних процесів [14] безхребетні мезофауни, які залучаються до трофічних ланцюгів на різних рівнях, підвищують аерацію та родючість ґрунту [14, С. 78; 15].

Помічено, що при проходженні підстилки крізь органи травлення фауни, відбувається споживання супутніх мікроорганізмів, зміна рН та окисно-відновного потенціалу, видалення легкорозкладних полісахаридів, збільшення долі лігніну та зменшення розчинних поліфенолів і співвідношень вуглецю з нітрогеном (C:N) у ґрунті. Фауна впливає на розподіл органічної речовини в профілі ґрунту, вилугування та викид твердих часток органічної речовини, що у свою чергу, впливає на мікробну активність ґрунту. При цьому, вплив ґрунтової мезо- і макрофауни на розклад підстилки та накопичення вуглецю в ґрунті може бути позитивним або негативним, а самі ефекти, як правило, найбільш сильні в екосистемах, які знаходяться в перехідному стані, наприклад у період відновлення після деяких змін під час первинної чи вторинної сукцесії [12].

У лабораторному експерименті, тривалістю 16 тижнів, з ґрунтами трьох видів (цілина, інтегроване землеробство та органічне землеробство) вплив ґрунтової мезофауни на розклад конюшини виявив втрату ваги та викид С і N з підстилки рослини в усіх трьох мікрокосмах. За наявності мезофауни в кінці експерименту середня втрата ваги конюшини була майже вдвічі вищою, а вміст С і N в залишках

рослин був на 60% нижчим, ніж без мезофауни. Системи землеробства впливали на розклад, позначаючись як на кругообігу елементів, так і на мезофауні. Хоча у перші тижні з ґрунту органічного землеробства вимивалося менше нітрогену, ніж з ґрунту інтегрованого землеробства, сукупне вилуговування елементу не відрізнялось між цими ґрунтами. Проте, з цілини вимивалося на >20% нітрогену менше, ніж з польових зразків. Продукування CO₂ було найвищим на цілині, тут мезофауна не вплинула на цей показник. У ґрунті з інтегрованим землеробством мезофауна знизила кумулятивну кількість CO₂ на 10%, тоді як у ґрунті органічного землеробства вона збільшила продукування CO₂ на 20% [16].

Дослідження впливу ґрунтової фауни на біогеохімічний цикл мінеральних ґрунтів виявило, що розкладу жорстких тканин вівса сприяла макрофауна, в той час як розклад залишків бобових культур був пов'язаний з мезофауною без будь-яких ознак впливу макрофауни [17].

Чутливість мезофауни до характеру підстилки підтвердили і канадські вчені, які вивчали реакції угруповань мезофауни лісної підстилки на зростаючий градієнт інтенсивності видалення біомаси та порушення ґрунту під сосною звичайною (*Pinus Banksiana*). Порівняння видових угруповань ногохвісток (*Collembola*) і панцирних кліщів (*Oribatida*) у зразках мохів, органічних та мінеральних ґрунтів через 2 роки після обробки лісу виявило значно меншу щільність та видове багатство (α -різноманіття) у відповідь на видалення біомаси порівняно з непорушеними стиглими насадженнями. Ці відмінності були особливо помітні при двох найбільш інтенсивних обробках: вирубка цілого дерева з видаленням пнів та обробка з додатковим видаленням лісової підстилки. Зміну угруповань мезофауни автори дослідження пояснюють зниженням багатства поживних речовин і кислотності ґрунту, а також підвищенням температури ґрунту після видалення лісової підстилки [18].

У наукових публікаціях описано і вплив видового складу та чисельності мезофауни на втрату маси підстилки. Зокрема, швидкість розкладу підстилки позитивно корелювала з індивідуальною та груповою щільністю ґрунтової мезофауни, а вклад останньої у розклад підстилки сосни корейської (*Pinus koraiensis*) та ясеня маньчжурського (*Fraxinus mandshurica*) склав відповідно 1,70% і 4,83% [19]. Вивчення впливу на розклад надземної та підземної підстилки трав'яної рослинності різних видів *Collembola* показало, що біомаса коріння трави зменшувалась зі зростанням різноманіття коллембол (ногохвісток) у верхньому та нижньому шарі ґрунту, а біомаса коріння бо-

бових збільшувалась, особливо в нижньому шарі ґрунту. Цікаво, що присутність *Collembola* зменшувала розклад наземної підстилки [20]. Відомо також, що в розкладі рослинних залишків борових екосистем найбільше значення має ряд двопарноногих багатоніжок кивсяки (*Julida*) [21; 22], а найбільшу участь у процесі розкладу підстилки в липо-ясеневих дібровах приймають двопарноногі багатоніжки, мертвоїди, пластинчатовусі жорсткокрилі, мокриці, гусениці совок, личинки двокрилих і червононогі молюски [22].

У дослідженнях екосистем пасовищ було виявлено, що присутність ґрунтової мезофауни збільшує річну втрату маси підстилки конюшини повзучої (*Trifolium repens* L.) і пажитниці багаторічної (*Lolium perenne* L.) у середньому на 20,01% [23]. Мета-аналіз 479 парних спостережень, отриманих із 49 досліджень, виявив, що в середньому ґрунтова фауна вносить $30,9 \pm 6,8\%$ (середня та стандартна похибка) у швидкість розкладу лісової підстилки, а позитивний вплив ґрунтової фауни на розклад підстилки зростає зі збільшенням концентрації целюлози у вихідному матеріалі підстилки за умов теплого та вологого клімату [24]. Наявні дані і про те, що на розвиток ґрунтової мезофауни позитивно впливає трав'яна рослинність та специфічний мікроклімат [25].

Вплив абіотичних факторів на різноманіття та активність мезофауни. Цікаві результати мають дослідження впливу найбільш важливих кліматичних факторів (температури та вологості ґрунту) на просторові і часові реакції ґрунтових організмів. Зокрема, описано, що літом і восени коли температура і вологість підвищуються чисельність та активність ґрунтової мезофауни помітно зростає [4; 19].

Інші дослідження, за допомогою побудови моделей структурних рівнянь показують, що підвищення температури понижує, а підвищення вологості збільшує вплив ґрунтової фауни на розклад підстилки за допомогою різних механізмів: 1) послаблення участі ґрунтової фауни було спричинене підвищенням температури за рахунок збільшення співвідношення карбону до нітрогену (C:N) в підстилці та щільності фауни; 2) посилення участі ґрунтової фауни було викликане підвищеною вологістю, яка збільшувала її різноманіття [26].

Цікаві результати мають дослідження впливу найбільш важливих кліматичних факторів (температури та вологості ґрунту) на просторові і часові реакції ґрунтових організмів та потенціальні зв'язки з ними функціонального різноманіття наземних рослин на торф'яниках. Виявлено, що в угрупованнях ґрунтової мезофауни під судинними рослинами переважали мікроартроподи (орібатидні

кліщі та колемболи), на відміну від мохів, які заселяли енхітреїди та двокрилі (несхожість $\approx 15\%$). Приведені дослідження показали також, що баланс посухи та водонасиченості ґрунту визначав часову динаміку та вертикальну стратифікацію популяцій ґрунтових безхребетних [27].

Дворічні спостереження за впливом вологості на розклад підстилки дуба пухнастого (*Quercus pubescens*), дуба кам'яного (*Quercus ilex*) та сосни алепської (*Pinus halepensis*) виявили, що чисельність кліщів Oribatida Acari знижувалась з посиленням посухи в усіх трьох типах лісів, а прямий вплив вологи на інші групи ґрунтової біоти залежав від виду порід. Так, у лісі *P. halepensis* посилення посухи спричинило зростання біомаси бактерій і грибів, але понизило чисельність колембол. У лісі *Q. ilex* чисельність колембол та Acari знижувалась із посиленням посухи. Крім того, позитивний взаємозв'язок між чисельністю Collembola і Oribatida та втратою маси підстилки зникав за умов посилення посухи у лісах *Q. ilex* та *P. halepensis* [28].

Сезонні флуктуації чисельності мезофауни в підстилці та верхньому шарі ґрунту були помічені в дослідженнях дубово-соснових суборів і соснових борів Шацького національного парку. Від весни до осені їх чисельність у верхньому шарі ґрунту збільшувалась, що пов'язане з вертикальною міграцією безхребетних з підстилки, яка літом пересихає. При цьому, в верхньому шарі ґрунту лишається достатня кількість вологи та збільшується маса молодих коренів. Також, вивчення ґрунтової мезофауни лісових екосистем виявило, що в сирому дубово-сосновому суборі частка мезофауни підстилки за показником чисельності сягала понад 96%, і навіть за умов осушення вона незначно зменшувалась (до 93%). У свіжих дубово-соснових суборах і соснових борах цей показник становив 68–75%, а у сухому сосновому борі – 60% [29, С. 130–131, С. 135].

Вивчення ґрунтової фауни в п'яти лісах субальпійських луків на висоті від 2659 до 3845 м показало, що склад угруповань ґрунтової мезофауни більш чутливий до сезонних змін температур ніж склад макрофауни [30].

Наведені приклади доводять, що ґрунтова мезофауна проявляє чутливість як до змін клімату так і до якості підстилки та умов географічного розміщення місцевості. Безпосередньо такі фактори середовища як температура та вологість можуть обумовлювати внесок ґрунтової мезофауни в розклад підстилки в протилежних напрямках.

Взаємозв'язок родючості ґрунту та життєдіяльності мезофауни. За будь-яких умов, у процесі розкладу підстилки утворюється гумус –

складний комплекс органо-мінеральних з'єднань, з якого на останніх етапах розкладу вивільнюються мінеральні солі [15; 31]. Механізми участі ґрунтової фауни в розкладі підстилки включають перетравлення субстрату, збільшення площі поверхні за рахунок фрагментації та прискорення інокуляції мікробів до підстилки [6; 8]. Кругообіг ґрунтової біоти та подальше перетворення її продуктів всередині чи поза травного тракту фауни призводить до утворення складних, гетерогенних гумінових матеріалів [32].

Наявний літературний досвід аналізу адаптивних стратегій та функцій організмів у ґрунті дозволяє вважати головними трансформерами підстилки саме представників мезофауни [19–22, 33], але в більшості наукових робіт не описується кінцева форма і тип гумусу, які створює ця розмірна група тварин ґрунту. Очевидно, що на фоні складних органо-мінеральних перетворень до механізмів формування родючості ґрунту залучені різноманітні зв'язки трофічних мереж із високим рівнем нерозділеного видового різноманіття [34].

Проте, відомі дослідження постійно розширюють розуміння внеску діяльності мезофауни в формування родючості ґрунту через збільшення мікробної біомаси, посилення активності ґрунтових ензимів, підвищення вмісту фосфатів [35], зміни рН, співвідношень C:N і дихання ґрунту [12; 16; 36; 37], а також інтенсивності мінералізації органічної речовини ґрунту та загального перерозподілу енергії у трофічних ланцюгах [29], що в підсумку обумовлює функціональне значення мезофауни для здоров'я ґрунтових екосистем [38; 39].

У наукових публікаціях останніх років усе частіше з'являються результати спостережень за реакціями представників мезофауни на трансформації властивостей ґрунтів під впливом антропогенного навантаження [39–41], що робить цих тварин зручним і чутливим індикатором характеру і ступеню змін ґрунту за різних програм моніторингу [29; 30; 39; 42–45].

Висновки. Оцінка та інвентаризація біорізноманіття ґрунту є поширеним напрямком екологічних досліджень, у яких суттєва увага приділяється безхребетним тваринам – представникам мезофауни. Від чисельності, видової та функціональної структури ґрунтової мезофауни напряму залежить інтенсивність обмінних процесів між рослинністю та ґрунтом. Одночасно, ґрунтові безхребетні зазнають впливу ряду факторів, серед яких умови зволоження та термічного режиму, трофічні взаємодії, склад рослинності всіх ярусів, а також антропогенний вплив на території місця існування. На сучасному етапі перспективним напрямком, що має фундаментальне та практичне наукове значення є використання мезофауни в якості ефек-

тивних ґрунтових біоіндикаторів у програмах моніторингу, відновлення та збереження здоров'я ґрунтових екосистем.

1. Wall D. H., Nielsen U. N., Six J. Soil biodiversity and human health. *Nature*. 2015. Vol. 528 (7580). P. 69–76.
2. Geisen S., Wall D., van der Putten W. Challenges and Opportunities for Soil Biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*. 2019. Vol. 29(19). P. R1036–R1044.
3. Романенко В. Н. Почвенная зоология : учеб. пособие. Томск : Томский государственный университет, 2013. 196 с.
4. Пахомов О. С., Кунах О. М. Функціональне різноманіття ґрунтової мезофауни заплавлених степових лісів в умовах штучного забруднення середовища : монографія. Д. : Вид-во ДНУ, 2005. 204 с.
5. Количественные методы в почвенной зоологии / Бызова Ю. Б., Гиляров М. С., Дунгер В., Захаров А. А. и др. М. : Наука, 1987. 288 с.
6. Звягинцев А. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. Изд. 3-е, испр. и доп. М. : Издательство Московского университета, 2005. 448 с.
7. Гиляров М. С. Соотношение размеров и численности почвенных беспозвоночных. *Докл. АН СССР*. 1944. Т. 43. С. 283–285.
8. Чернова Н. И., Билова А. М. Общая экология : учебник. М. : Изд-во «Дрофа». 2004. 416 с.
9. Хазиев Ф. Х. Структурно-функциональная связь биоразнообразия наземных экосистем с почвами. *Экобиотех*. 2019. № 1. Том 2. С. 19–35.
10. Helmberger M. S., Shields E. J., Wickings K. G. Ecology of belowground biological control: Entomopathogenic nematode interactions with soil biota. *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 121. P. 201–213.
11. Дмитренко В. П., Осадча Н. М., Чернецька С. А. Про вплив метеорологічних чинників на гумусові речовини ґрунтових вод та водних екосистем. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2005. Вип. 254. С. 114–135.
12. Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*. 2018. Vol. 332. P. 161–172.
13. Eisenhauer N., Cesarz S., Koller R., Worm K., Reich P. B. Global change belowground: Impacts of elevated CO₂, nitrogen, and summer drought on soil food webs and biodiversity. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18 (2). P. 435–447.
14. Thakur M. P., van Groenigen J. W., Kuiper I., De Deyn G. B. Interactions between microbial-feeding and predatory soil fauna trigger N₂O emissions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 70. P. 256–262.
15. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство : підручник. Чернівці : Книги – XXI, 2004. 400 с.
16. Ke X., Winter K., Filser J. Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. Vol. 37 (4). P. 731–738.
17. Nakatsuka H., Karasawa T., Ohkura T., Wagai R. Soil faunal effect on plant litter decomposition in mineral soil examined by two in-situ approaches: Sequential density-size fractionation and micromorphology. *Geoderma*. 2020. Vol. 357. P. 113910.
18. Rousseau L., Venier L., Hazlett P., Fleming R., Morris D., Handa T. Forest floor mesofauna communities respond to a gradient of biomass removal and soil disturbance in a boreal jack pine (*Pinus banksiana*) stand of northeastern Ontario (Canada). *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 407. P. 155–165.
19. Jiang Y., Yin X.,

Wang F. Impact of soil mesofauna on the decomposition of two main species litters in a *Pinus koraiensis* mixed broad-leaved forest of the Changbai Mountains. *Acta Ecologica Sinica*. 2014. Vol. 34(2). P. 110–115. **20.** Eisenhauer N., Saubais A., Scheu S. Collembola species composition and diversity effects on ecosystem functioning vary with plant functional group identity. *Soil Biology and Biochemistry*. 2011. Vol. 43(8). P. 1697–1704. **21.** Локшина И. Е. Многоножки (Diplopoda) центральной части широколиственных лесов Русской равнины. *Влияние животных на продуктивность лесных биоценозов*. М. : Наука, 1966. С. 192–202. **22.** Цветкова Н. М., Бригадиренко В. В. Роль герпетобіонтної мезофауни в трансформації органічної речовини підстилки заплавних і аренних лісів степової зони. *Питання біоіндикації та екології*. Запоріжжя : ЗДУ, 2003. Вип. 8. № 2. С. 135–151. **23.** Song X., Wang Z., Tang X., Xu D., Liu B., Mei J., Huang S., Huang G. The contributions of soil mesofauna to leaf and root litter decomposition of dominant plant species in grassland. *Applied Soil Ecology*. 2020. Vol. 155. P. 103651. **24.** Xu X., Sun Y., Sun J., Cao P., Wang Y., Chen H., Wang W., Ruan H. Cellulose dominantly affects soil fauna in the decomposition of forest litter: A meta-analysis. *Geoderma*. 2020. Vol. 378. P. 114620. **25.** Koehler H., Born H. The influence of vegetation structure on the development of soil mesofauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1989. Vol. 27(1). P. 253–269. **26.** Tan B, Yin R, Zhang J. et al. Temperature and Moisture Modulate the Contribution of Soil Fauna to Litter Decomposition via Different Pathways. *Ecosystems* 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00573-w>. (дата звернення: 20.02.2021). **27.** Juan-Ovejero R., Benito E., Barrantes M. E., Rodeiro J., Briones M. J. Tolerance to fluctuating water regimes drives changes in mesofauna community structure and vertical stratification in peatlands. *Pedobiologia*. 2019. Vol. 76. P. 150571. **28.** Aupic-Samain A., Santonja M., Chomel M. et al. Soil biota response to experimental rainfall reduction depends on the dominant tree species in mature Northern Mediterranean forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108122> (дата звернення: 20.02.2021). **29.** Білецький Ю. В. Угруповання ґрунтової мезофауни соснових лісів Шацького національного природного парку та їх антропогенні зміни : дис. ... канд. біолог. наук : 03.00.16. Львів : Інститут екології Карпат, 2016. 160 с. **30.** Wu P., Wang C. Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: The significance for soil fauna diversity monitoring. *Geoderma*. 2019. Vol. 337. P. 266–272. **31.** Гнатенко О. Ф., Капштик М. В., Петренко Л. Р., Вітвицький С. В. Ґрунтознавство з основами геології : навч. посіб. К. : Оранта, 2005. 648 с. **32.** Brussaard L., Juma N. G. Organisms and Humus in Soils. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. 1996. P. 329–359. **33.** Lavelle P. Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. *Advances in Ecological Research*. 1997. Vol. 27(C). P. 93–132. **34.** Bernier N. Hotspots of biodiversity in the underground: A matter of humus form? *Applied Soil Ecology*. 2018. Vol. 123. P. 305–312. **35.** Kandeler E., Kampichler C., Mölter K., Joergensen R. G. Effects of mesofauna in a spruce forest on soil micro-

bial communities and N cycling in field mesocosms. *Soil Biology and Biochemistry*. 1999. Vol. 31(13). P. 1783–1792. **36.** Salmon S., Mantel J., Frizzera L., Zanella A. Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate. *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 237(1). P. 47–56. **37.** Chertov O., Komarov A., Shaw C., Bykhovets S., Frolov P. et al. A model of soil organic matter formation coupling with soil biota activity. II. *Parameterisation of the soil food web biota activity. Ecological Modelling*. 2017. Vol. 345. P. 125–139. **38.** DeLuca T. H., Pingree M. R. A., Gao S. Assessing soil biological health in forest soils. *Developments in Soil Science*. 2019. Vol. 36. P. 397–426. **39.** George P. B. L., Keith A. M., Creer S., Barrett G. L. et al. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017. Vol. 115. P. 537–546. **40.** Дорохов К. В., Шелуха В. П. Влияние антропогенных воздействий на динамику трофической структуры и плотности мезофауны. *Вестн. Моск. гос. ун-та леса. Лесной вестн.* 2014. Т. 18(4). С. 103–111. **41.** Heydari M., Eslaminejad P., Kakhki F. V., Mirab-balou M., et al. Soil quality and mesofauna diversity relationship are modulated by woody species and seasonality in semiarid oak forest. *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 473. P. 118332. **42.** Князев С. Ю. Оценка влияния поллютантов Омского нефтеперерабатывающего завода на окружающую среду с помощью почвенной мезофауны. *Вестник российских университетов. Математика*. 2014. № 5. С. 1304–1306. **43.** Bedano J. C., Domínguez A., Arolfo R. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil and Tillage Research*. 2011. Vol. 117. P. 55–60. **44.** Журавель М. Ю., Леженіна І. П., Полчанінова Н. Ю., Яременко В. В. Застосування зоологічної діагностики для оцінювання стану Чорноземних ґрунтів на території газонафтових родовищ. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2017. Vol. 2(16). P. 44–51. **45.** Sánchez-Moreno S., Cano M., López-Pérez A., Benayas J. M. R. Microfaunal soil food webs in Mediterranean semi-arid agroecosystems. Does organic management improve soil health? *Applied Soil Ecology*. 2018. Vol. 125. P. 138–147.

REFERENCES:

1. Wall D. H., Nielsen U. N., Six J. Soil biodiversity and human health. *Nature*. 2015. Vol. 528 (7580). P. 69–76. **2.** Geisen S., Wall D., van der Putten W. Challenges and Opportunities for Soil Biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology*. 2019. Vol. 29(19). P. R1036–R1044. **3.** Romanenko V. N. Pochvennaya zoologiya : ucheb. posobie. Tomsk : Tomskiy gosudarstvennyiy universitet, 2013. 196 s. **4.** Pahomov O. S., Kunah O. M. Funktsionalne riznomanittya rruntovoi mezofauni zaplavnih stepovih lisiv v umovah shtuchnogo zabrudnennya seredovischa : monografiya. D. : Vid-vo DNU, 2005. 204 s. **5.** Kolichestvennyie metodyi v pochvennoy zoologii / Byizova YU. B., Gilyarov M. S., Dunger V., Zaharov A. A. i dr. M. : Nauka, 1987. 288 s. **6.** Zvyagintsev A. G., Babeva I. P., Zenova G. M. Biologiya pochv. Izd. 3-e, ispr. i dop. M. : Izdatelstvo

Moskovskogo universiteta, 2005. 448 s. **7.** Gilyarov M. S. Sootnoshenie razmerov i chislenosti pochvennyih bespozvonochnyih. *Dokl. AN SSSR*. 1944. T. 43. S. 283–285. **8.** Chernova N. I., Bilova A. M. *Obschaya ekologiya* : uchebnik. M. : Izd-vo «Drofa». 2004. 416 s. **9.** Haziev F. H. Strukturno-funktsionalnaya svyaz bioraznoobraziya nazemnyih ekosistem s pochvami. *Ekobioteh*. 2019. № 1. Tom 2. S. 19–35. **10.** Helmberger M. S., Shields E. J., Wickings K. G. Ecology of belowground biological control: Entomopathogenic nematode interactions with soil biota. *Applied Soil Ecology*. 2017. Vol. 121. P. 201–213. **11.** Dmytrenko V. P., Osadcha N. M., Chernetska S. A. Pro vplyv meteorolohichnykh chynnykiv na humusovi rehovyny gruntovykh vod ta vodnykh ekosystem. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*. 2005. Vyp. 254. S. 114–135. **12.** Frouz J. Effects of soil macro- and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*. 2018. Vol. 332. P. 161–172. **13.** Eisenhauer N., Cesarz S., Koller R., Worm K., Reich P. B. Global change belowground: Impacts of elevated CO₂, nitrogen, and summer drought on soil food webs and biodiversity. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18 (2). P. 435–447. **14.** Thakur M. P., van Groenigen J. W., Kuiper I., De Deyn G. B. Interactions between microbial-feeding and predatory soil fauna trigger N₂O emissions. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014. Vol. 70. P. 256–262. **15.** Nazarenko I. I., Polchyna S. M., Nikorych V. A. *Hruntoznavstvo* : pidruchnyk. Chernivtsi : Knyhy – XXI, 2004. 400 s. **16.** Ke X., Winter K., Filser J. Effects of soil mesofauna and farming management on decomposition of clover litter: a microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005. Vol. 37 (4). P. 731–738. **17.** Nakatsuka H., Karasawa T., Ohkura T., Wagai R. Soil faunal effect on plant litter decomposition in mineral soil examined by two in-situ approaches: Sequential density-size fractionation and micromorphology. *Geoderma*. 2020. Vol. 357. P. 113910. **18.** Rousseau L., Venier L., Hazlett P., Fleming R., Morris D., Handa T. Forest floor mesofauna communities respond to a gradient of biomass removal and soil disturbance in a boreal jack pine (*Pinus banksiana*) stand of northeastern Ontario (Canada). *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 407. P. 155–165. **19.** Jiang Y., Yin X., Wang F. Impact of soil mesofauna on the decomposition of two main species litters in a *Pinus koraiensis* mixed broad-leaved forest of the Changbai Mountains. *Acta Ecologica Sinica*. 2014. Vol. 34(2). P. 110–115. **20.** Eisenhauer N., Sabais A., Scheu S. Collembola species composition and diversity effects on ecosystem functioning vary with plant functional group identity. *Soil Biology and Biochemistry*. 2011. Vol. 43(8). P. 1697–1704. **21.** Lokshina I. E. Mnogonojki (Diplopoda) tsentralnoy chasti shirokolistvennyih lesov Russkoy ravniny. *Vliyanie jivotnyih na produktivnost lesnyih biotsenozov*. M. : Nauka, 1966. S. 192–202. **22.** Tsvetkova N. M., Bryhadyrenko V. V. Rol herpetobiontnoi mezofauny v transformatsii orhanichnoi rehovyny pidstylky zaplavnykh i arennykh lisiv stepovoi zony. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii*. Zaporizhzhia : ZDU, 2003. Vyp. 8. № 2. S. 135–151. **23.** Song X., Wang Z., Tang X., Xu D., Liu B., Mei J., Huang S., Huang G. The contributions of soil mesofauna to leaf and root litter decomposition of dominant plant species in grassland. *Applied Soil Ecology*. 2020. Vol. 155. P. 103651. **24.** Xu X., Sun Y., Sun J., Cao P., Wang Y., Chen H.,

Wang W., Ruan H. Cellulose dominantly affects soil fauna in the decomposition of forest litter: A meta-analysis. *Geoderma*. 2020. Vol. 378. P. 114620. **25.** Koehler H., Born H. The influence of vegetation structure on the development of soil mesofauna. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 1989. Vol. 27(1). P. 253–269. **26.** Tan B, Yin R, Zhang J. et al. Temperature and Moisture Modulate the Contribution of Soil Fauna to Litter Decomposition via Different Pathways. *Ecosystems* 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s10021-020-00573-w>. (data zvernennia: 20.02.2021). **27.** Juan-Ovejero R., Benito E., Barreal M. E., Rodeiro J., Briones M.J. Tolerance to fluctuating water regimes drives changes in mesofauna community structure and vertical stratification in peatlands. *Pedobiologia*. 2019. Vol. 76. P. 150571. **28.** Aupic-Samain A., Santonja M., Chomel M. et al. Soil biota response to experimental rainfall reduction depends on the dominant tree species in mature Northern Mediterranean forests. *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108122> (data zvernennia: 20.02.2021). **29.** Biletskyi Yu. V. Uhrupovannia gruntovoi mezofauny osnovnykh lisiv Shatskoho natsionalnoho pryrodnoho parku ta yikh antropohenni zminy : dys. ... kand. bioloh. nauk : 03.00.16. Lviv : Instytut ekolohii Karpat, 2016. 160 s. **30.** Wu P., Wang C. Differences in spatiotemporal dynamics between soil macrofauna and mesofauna communities in forest ecosystems: The significance for soil fauna diversity monitoring. *Geoderma*. 2019. Vol. 337. P. 266–272. **31.** Hnatenko O. F., Kapshtyk M. V., Petrenko L. R., Vitvytskyi S. V. Gruntoznavstvo z osnovamy heolohii : navch. posib. K. : Oranta, 2005. 648 s. **32.** Brussaard L., Juma N. G. Organisms and Humus in Soils. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. 1996. P. 329–359. **33.** Lavelle P. Faunal Activities and Soil Processes: Adaptive Strategies That Determine Ecosystem Function. *Advances in Ecological Research*. 1997. Vol. 27(C). P. 93–132. **34.** Bernier N. Hotspots of biodiversity in the underground: A matter of humus form? *Applied Soil Ecology*. 2018. Vol. 123. P. 305–312. **35.** Kandeler E., Kampichler C., Mölter K., Joergensen R. G. Effects of mesofauna in a spruce forest on soil microbial communities and N cycling in field mesocosms. *Soil Biology and Biochemistry*. 1999. Vol. 31(13). P. 1783–1792. **36.** Salmon S., Mantel J., Frizzera L., Zanella A. Changes in humus forms and soil animal communities in two developmental phases of Norway spruce on an acidic substrate. *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 237(1). P. 47–56. **37.** Chertov O., Komarov A., Shaw C., Bykhovets S., Frolov P. et al. A model of soil organic matter formation coupling with soil biota activity. II. *Parameterisation of the soil food web biota activity. Ecological Modelling*. 2017. Vol. 345. P. 125–139. **38.** DeLuca T. H., Pingree M. R. A., Gao S. Assessing soil biological health in forest soils. *Developments in Soil Science*. 2019. Vol. 36. P. 397–426. **39.** George P. B. L., Keith A. M., Creer S., Barrett G. L. et al. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017. Vol. 115. P. 537–546. **40.** Dorohov K. V., SHeluhu V. P. Vliyanie antropogennykh vozdeystviy na dinamiku troficheskoy struktury i plotnosti mezofauny. *Vestn. Mosk. gos. un-ta lesa. Lesnoy vestn.* 2014. T. 18(4). S. 103–111. **41.** Heydari M.,

Eslaminejad P., Kakhki F. V., Mirab-balou M., et al. Soil quality and mesofauna diversity relationship are modulated by woody species and seasonality in semi-arid oak forest. *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 473. P. 118332. **42.** Knyazev S. Yu. Otsenka vliyaniya pollyutantov Omskogo neftepererabatyivayuschego zavoda na okrujayuschuyu sredu s pomoschyu pochvennoy mezofauny. *Vestnik rossiyskih universitetov. Matematika*. 2014. № 5. S. 1304–1306. **43.** Bedano J. C., Domínguez A., Arolfo R. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil and Tillage Research*. 2011. Vol. 117. P. 55–60. **44.** Zhuravel M. Yu., Lezhenina I. P., Polchaninova N. Yu., Yaremenko V. V. Zastosuvannia zoolohichnoi diahnostryky dlia otsiniuvannia stanu Chornozemnykh gruntiv na terytorii hazonaftovykh rodovyshch. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2017. Vol. 2(16). R. 44–51. **45.** Sánchez-Moreno S., Cano M., López-Pérez A., Benayas J. M. R. Microfaunal soil food webs in Mediterranean semi-arid agroecosystems. Does organic management improve soil health? *Applied Soil Ecology*. 2018. Vol. 125. P. 138–147.

**Biedunkova O. O., Doctor of Biological Sciences, Professor,
Tsipan Yu. R., Post-graduate Student** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

SOIL MESOFAUNA AS A FACTOR IN SOIL FERTILITY (THEORETICAL REVIEW AND PRACTICAL SIGNIFICANCE)

The purpose of this article was to carry out a theoretical analysis and an objective examination of the influence of mesofauna on the formation of soil fertility, as well as to identify new promising trends in the use of this group of animals in environmental studies. The assessment and inventory of soil biodiversity is a common area of environmental research that focuses on mesofauna invertebrates. The abundance, species and functional structure of the soil mesofauna directly affects the exchange rate between vegetation and soil. At the same time, ground invertebrates are affected by a number of factors, including wetting and thermal conditions, trophic interactions, vegetation composition of all tiers, and anthropogenic impacts on habitats. The authors conducted a theoretical review of the scientific literature on the influence of mesofauna on soil fertility, with a view to identifying new promising trends in the use of this group of animals in environmental studies. There was some discrepancy in the classification of soil fauna by dimensional characteristics in different science schools. The participation of mesofauna in the soil cycle and the known influence of these animals on soil fertility have been ana-

lyzed. The influence of abiotic factors on the diversity and activity of mesofauna has been monitored. There are a continuous accumulation of knowledge in the literature about the role of interactions between different groups of organisms, especially micro-organisms and plants, zoo microbial complexes, fungi associations with algae and bacteria, and the role of mesofauna in soil biological processes. The role of biota in protecting the environment and ensuring the sustainability of terrestrial and terrestrial ecosystems Taking into account all the facts and the content of the scientific publications, the authors of the article concluded that, at the present stage, a promising direction is being taken, which is of fundamental and practical scientific importance is the use of mesofauna as effective ground bio-indicators in programs for monitoring, restoring and preserving the health of soil ecosystems.

Keywords: ecosystem; soil; mesofauna; litter; fertility.

Бедункова О. А., д.б.н., профессор, Ципан Ю. Р., аспирант
(Национальный университет водного хозяйства и
природопользования, г. Ровно)

ПОЧВЕННАЯ МЕЗОФАУНА КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ (ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ)

Проведен теоретический обзор научной литературы об изученности вопроса влияния мезофауны на формирование плодородия почвы, с целью выявления новых перспективных тенденций при использовании этой группы животных в экологических исследованиях. Выявлено некоторое расхождение в классификации почвенной фауны по размерным признакам в различных научных школах. Проанализированы участие мезофауны в круговороте веществ почвы и известные механизмы влияния этих животных на плодородие почвы. Отслежено влияние абиотических факторов на разнообразие и активность мезофауны. Установлено, что в современных экологических исследованиях представители мезофауны выступают удобным и чувствительным индикатором различных изменений свойств почвы.

Ключевые слова: экосистема; почва; мезофауна; подстилка; плодородие.
