



## Ecomorphic structure of the soil macrofauna communities of technosols of the Nikopol Manganese Ore Basin

K. P. Maslikova

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

### Article info

Received 14.03.2018

Received in revised form

08.04.2018

Accepted 11.04.2018

*Dnipro State Agrarian and  
Economic University,  
Sergey Yefremov st., 25,  
Dnipro, 49600, Ukraine.  
Tel.: +38-056-713-51-96.  
E-mail: mkaterina@ukr.net*

**Maslikova, K. P. (2018). Ecomorphic structure of the soil macrofauna communities of technosols of the Nikopol Manganese Ore Basin. *Biosystems Diversity*, 26(2), 85–91. doi:10.15421/011813**

This study established features of the animal population of artificial soil-like bodies – technosols in terms of ecomorphic analysis. The survey was conducted at the research station of the Dnipro State Agricultural University in the city Pokrov in 2012–2014. The experimental polygons were laid within four technosol types: pedozems, sod loess-like lithogenic soils on loam, grey-green clay and red-brown clay. The polygon consisted of 15 transects and each transect was composed of seven test sites. The distance between rows in the polygon was 3 m. Each test site was a square with size  $3 \times 3$  m. The manual sorting of the soil-zoological samples was conducted within each site for areas  $0.25 \times 0.25$  m to the depth where animals were found. Samples were taken in late April or early May. In general, for each period of counting for each polygon 105 soil-zoological samples were taken 123 species of invertebrates were found in the soil macrofauna community of the technosols. These communities are a steppe monocoenosis with a tendency to transformations into pseudomonocoenosis on account of increased share of pratants. The soil macrofauna of sod lithogenic soils on grey-green clay and loam on loess-like clays is most adapted to xerophilous condition. Animal communities in pedozems and sod-lithogenic soils or on red-brown clay have a more mesophilic character. The trophocenomorphic structure of the soil macrofauna community indicates a significant potential of the fertility of artificial soil. The aeromorphs' structure reveals a significant ability of technosols to create cracks and pores, which can lead to hyperaeration. The dominant part of the soil macrofauna community was hypercarbonatophils. Against the background of the steppe character, the soil macrofauna community had a topomorphic structure that is unusual for natural steppe black soil biogeocenoses on loess-like loam. The trophomorph structure was greatly dominated by phytophages, which indicates the prevalence of processes of mineralization of plant residues under the humification process. The phoromorph spectrum of soil animal communities was dominated by ecological groups which move without the active construction of tunnels.

**Keywords:** ecomorphs; soil macrofauna; technosols; indication; reclamation

## Екоморфічна структура угруповань ґрунтової мезофауни техноземів Нікопольського марганцеворудного басейну

К. П. Маслікова

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна*

Установлено особливості тваринного населення штучних ґрунтоподібних тіл – техноземів у термінах екоморфічного аналізу. Дослідження проведене в науково-дослідному стаціонарі Дніпровського державного аграрного університету в м. Покров у 2012–2014 рр. Полігони закладені у межах чотирьох типів техноземів: педоземи, дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках, сіро-зелених глинах та червоно-бурих глинах. Полігон складається з 15 трансект, а кожна трансекта складена з 7 пробних майданчиків. Відстань між рядами в полігоні становить 3 м. Кожний майданчик являє собою квадрат розміром  $3 \times 3$  м. У межах кожного майданчика проведене ручне розбирання ґрунтово-зоологічних проб розміром  $0,25 \times 0,25$  м на глибину трапляння тварин. Проби відбирали в кінці квітня або на початку травня. Загалом, за кожний період обліків на кожному полігоні відібрано 105 ґрунтово-зоологічних проб. В угрупованнях ґрунтової мезофауни техноземів установлено 123 види безхребетних тварин. Ці угруповання – степовий моноценоз зі схильністю до трансформації у псевдомоноценоз за рахунок збільшення ролі пратантів. Найбільш адаптовані до ксерофільних умов існування – угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах і на лесоподібних суглинках. У педоземах і дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах угруповання мають більш мезофільний характер. Трофоценоморфічна структура угруповання ґрунтової мезофауни вказує на значний потенціал родючості штучно створених ґрунтів. Структура аероморф підкреслює значну здатність техноземів до утворення тріщин і пор та, відповідно, до гіпераерації. Домінантна складова угруповання ґрунтової мезофауни – гіперкарбонатофіли. На фоні загального степового характеру угруповання ґрунтової мезофауни мають топоморфічну структуру, не характерну для природних степових біогеоценозів чорноземів на лесоподібних суглинках. У структурі трофоморф значно домінують фітофаги, що індикує переважання процесів мінералізації рослинних залишків над процесом гуміфікації. У спектрі фоморф домінують тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів.

**Ключові слова:** екоморфи; ґрунтова мезофауна; техноземи; індикація; рекультивація



Грунтова мезофауна – екологічний комплекс, який складається з великих за розміром безхребетних. Важливість вивчення населення ґрунтових тварин зумовлена їх величезною роллю в житті ґрунту, де вони не тільки мешкають, а й активно формують структуру ґрунтових горизонтів (Brygadyrenko, 2015; Zhukov et al., 2017). Представники ґрунтової мезофауни беруть участь у багатьох ґрунтовірних процесах і екосистемних сервісах, є важливими екосистемними інженерами (Jones et al., 1994, 1997). До найактивніших перетворювачів середовища зазвичай відносять найбільших представників ґрунтової фауни, які радикально перетворюють фізичний стан ґрунтового середовища своєю локомоторною, будівельною чи трофічною активністю (Kunah, 2016). Головні «екосистемні інженери» (Jones et al., 1994) ґрунту – дощові черви (Decaëns & Rossi, 2001). Основний вплив на структуру ґрунту вони чинять рийною активністю та формуванням викидів (копролітів). Рийна активність червів сприяє такому екосистемному сервісу як формування макро- та мікроагрегатів (Barois et al., 1993; Jiménez et al., 2014). Копрогенні ґрунти характеризуються підвищеним вмістом гумусу та рослинних. Грунтова мезофауна – основна за біомасою група наземних тварин (Lavelle et al., 1997). Вона різноманітна у видовому відношенні, створює осіле населення, тісно контактує із ґрунтом (Gilarov, 1965). Безхребетні мешканці ґрунтового та підстилкового ярусів через специфіку їх місця існування становлять групу тварин, які зазнають значних прямих і опосередкованих антропогенних впливів (Rossi, 2003; Faly et al., 2017). Ґрунтові безхребетні характеризуються значною стабільністю та стійкістю навіть у сильно змінених людиною екосистемах, де часто залишаються останньою групою, за якою можна оцінити ступінь впливу на біоту (Krivolutsky, 1994).

Будь-яка зміна середовища існування безпосередньо відбивається на складі ґрунту та його біоті, що дозволяє використовувати як весь комплекс ґрунтової мезофауни, так і окремі таксономічні групи як надійні індикатори стану природних угруповань (Whalen, 2004; Zhukov & Shatalin, 2016). Ґрунтові безхребетні живуть здебільшого у верхніх акумулятивних горизонтах ґрунту (Decaëns et al., 2006; Brygadyrenko, 2016). Видовий склад їх угруповань найбільшою мірою змінюється як у процесі природного сукцесійного розвитку біогеоценозу, так і за антропогенного впливу, і тому на різних стадіях природних і антропогенних сукцесій формуються унікальні комплекси ґрунтових безхребетних (Drake, 1990; Zhukov et al., 2016).

Екоморфи відбивають ставлення живих організмів до екологічних факторів. За Williams (1947), до космічних факторів належать світло та тепло, а до наземних – вода та їжа. Відношення до космічних факторів відбивають кліматоморфи, термоморфи, геліоморфи рослин і тварин (Akimov, 1954; Zhukov & Zadorozhnaya, 2016), а також трофоценоморфи та топоморфи тварин (Zhukov et al., 2016). Ставлення до наземних факторів характеризують трофоморфи та гігоморфи (Andrusevich et al., 2014; Kharytonov et al., 2018). Останні характеризують преференції організмів до градацій режиму зволоження ґрунту (Zhukov et al., 2017), а трофоморфи (трофоценоморфи тварин) – до градацій трофності едафотопу (Kunah et al., 2014). Гігоморфи та трофоценоморфи виділяються за допомогою вивчення горизонтальної диференціації живого покриву. З боку вертикальної диференціації тваринного населення ґрунтів можуть бути виділені топоморфи – підстилкові, ґрунтові та норні форми. Топоморфи вказують на ярус, якому віддає перевагу екологічна група, а також на зосередження функціональної активності тварин. Трофоморфи диференціюють тваринне населення за ознакою способу живлення та особливостями трофічного впливу на середовище існування (Svyrydchenko & Brygadyrenko, 2014). Спектри гігоморф, трофоценоморф, топоморф і трофоморф дозволяють одержати уявлення про екологічне різноманіття угруповання. Ці ознаки дозволяють установити стосунки розбіжності або подібності між видами тварин, що становлять угруповання. Сукупність таких характеристик угруповання як спектри екоморф, індекси екологічного різноманіття та організації, ін-

декси видового різноманіття та функціональні ознаки угруповань становлять основу екоморфичної матриці (Zhukov et al., 2017).

Якісні та кількісні показники структури ґрунтової мезофауни відображають як особливості стану ґрунтової динаміки, так і фауністичні риси, властиві певним місцям мешкання (Gongalsky et al., 2008). Тому за різноманіттям і чисельністю ґрунтових безхребетних можна з достатньою точністю оцінювати ступінь трансформації середовища існування (Gongalsky et al., 2009). Посилення антропогенного та техногенного тиску викликає необхідність розроблення методів, що дають змогу своєчасно виявити деградацію, встановити догнотривалі тенденції та буферну здатність природних екосистем до негативних факторів, з одного боку, а з іншого – дозволяють виявити позитивний розвиток техногенно трансформованих земель (Zverkovskiy et al., 2017), напрямок їх розвитку та створити прогноз щодо швидкості відновлення їх продуктивності (Krivolutsky, 1994). Зоологічна діагностика ґрунтів – це встановлення відповідності та інформаційного зв'язку між типологічними одиницями ґрунтового покриву та емерджентними властивостями тваринного населення ґрунтів (Zhukov, 2009). Ґрунтово-зоологічні дослідження дають змогу використовувати ґрунтових тварин для характеристики умов їх існування, їх зміни від техногенного або господарського впливу – перспективного та актуального питання використання рекультивованих ґрунтів для сільськогосподарських угідь (Mordkovich, 1977). Ґрунтові тварини беруть безпосередню участь у процесах ґрунтоутворення, в чому і полягає їх діагностичне значення. Перевага зоологічного методу діагностики ґрунтів полягає у швидкості реакції організмів на зміни умов існування (Mordkovich, 2013).

Мета цього дослідження – встановити особливості тваринного населення штучних ґрунтоподібних тіл – техноземів у термінах екоморфичного аналізу.

## Матеріал і методи досліджень

Дослідження проведене в науково-дослідному стаціонарі Дніпровського державного аграрно-економічного університету в м. Покров у 2012–2014 рр. Полігони закладені у межах чотирьох типів техноземів: педоземи, дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках, сіро-зелених глинах і червоно-бурих глинах. Полігон складається з 15 трансект, а кожна трансекта складена з 7 пробних майданчиків. Відстань між рядами полігону становить 3 м. Кожний майданчик являє собою квадрат розміром 3 × 3 м. У межах кожного майданчика проведене ручне розбирання ґрунтово-зоологічних проб розміром 0,25 × 0,25 м на глибину зустрічі тварин. Проби відбирали у кінці квітня або на початку травня. Загалом, за кожний період обліків на кожному полігоні відібрано 105 ґрунтово-зоологічних проб. Таким чином, за весь період досліджень відібрано 1 260 проб, у яких перебувало 14 338 екз. безхребетних тварин. Таблиці видів і описання ґрунтових профілів техноземів наведені Zhukov et al. (2017). Таксономія та номенклатура ґрунтових безхребетних наведена за базою даних Fauna Europea (de Jong, 2013; Fauna Europaea version 2.6. Web Service available online at [www.faunaeur.org](http://www.faunaeur.org)). Характеристика екоморф ґрунтових тварин наведена за Zhukov (2009).

## Результати та їх обговорення

*Ценоморфична структура мезофауни техноземів.* У ценоморфичній структурі мезофауни техноземів представлені палюданти, пратанти, сільванти та степанти (табл. 1). У ценоморфичному спектрі угруповання мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках домінують положення займають степанти (74,2–94,8%). Дещо меншу роль в угрупованні відіграють пратанти (4,9–22,8%) та епізодично зустрічаються сільванти (0,4–3,0%). Одержані результати свідчать про те, що угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках має ядро виражений степовий характер. Таке угруповання можна оцінити як степовий моноценоз зі схильністю в окремі роки до трансформації у псевдомоноценоз за рахунок збільшення

ролі пратантів. У спектрі ценоморф угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах безумовно домінують степанти. Їх частка в угрупованні коливається в незначних межах (93,5–98,3%). Пратанти та сільванти зустрічаються епізодично. Таким чином, угруповання безхребетних дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах має характер степового моноценозу.

**Таблиця 1**

Екоморфічна структура угруповань ґрунтової мезофауни техноземів (% від загальної чисельності угруповання)

Тип техноземів	Рік	Pal	Pr	Sil	St
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	–	2,54	0,56	96,90
	2013	–	0,68	1,03	98,29
	2014	–	1,26	5,26	93,47
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	–	16,33	1,57	82,10
	2013	–	4,87	0,35	94,78
	2014	–	22,84	2,99	74,17
Педозем	2012	–	1,05	0,52	98,43
	2013	–	1,42	0,47	98,10
	2014	–	0,55	1,65	97,79
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	0,12	2,45	0,31	97,12
	2013	–	0,22	1,10	98,69
	2014	0,46	0,61	5,17	93,77

Примітка: Pal – палюданти, Pr – пратанти, Sil – сільванти, St – степанти.

У структурі ценоморф ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах домінують степанти (93,8–98,7%). Пратанти та сільванти зустрічаються епізодично. Слід також відзначити епізодичні трапляння палюдантів. Палюданти надають специфічності угрупованню ґрунтової мезофауни на сіро-зелених глинах. Очевидно, висока вологоємність такого субстрату створює локальні умови для існування болотних видів у загальному степовому оточенні.

У структурі ценоморф ґрунтової мезофауни педоземів домінують степанти. Частка їх в угрупованні коливається в межах 97,8–98,1%. Пратанти та сільванти зустрічаються епізодично.

Таким чином, угруповання ґрунтової мезофауни техноземів переважно представлені степантами, які складають абсолютну більшість комплексів. Тільки у 2012 та 2014 рр. на дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках спостерігали зменшення частки цієї ценоморфи за рахунок пратантів. Угруповання ґрунтової мезофауни педоземів, дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених і червоно-бурих глинах можна ідентифікувати як степовий моноценоз, а угруповання дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках можна оцінити як степовий псевдомоноценоз із лучною компонентою. Сільванти зустрічаються епізодично. Джерело їх розселення – лісові насадження, які оточують експериментальний полігон із техноземами. Ця обставина підкреслює важливу роль ландшафтного різноманіття в межах рекультивованих земель. Але невелика частка сільвантів – це маркер недостатнього розвитку лісових насаджень.

Палюданти трапляються вкрай епізодично і тільки в техноземах, які сформувалися на сіро-зелених глинах, що підкреслює специфічність і контрастність водного режиму цих утворень.

**Індикація водного режиму техноземів та гігоморфічна структура мезофауни.** У спектрі гігоморф угруповання мезофауни на дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках за період дослідження домінували ксерофільні види безхребетних (66,6–79,4%) (табл. 2). Дещо меншу роль в угрупованні відіграють мезофіли (20,3–33,0%). Гігрофіли та ультрагігрофіли зустрічаються спорадично. Таким чином, на фоні переважання ксерофілів, що досить природно для степових угруповань, потужно представлені мезофіли. Слід зауважити, що ксерофільні умови можна визначити як екстремальні для переважної більшості рослинних і тваринних організмів. Одержані результати свідчать про те, що лесоподібні суглинки характеризуються комплексом властивостей, які створюють умови для тренду загальноксерофільних умов у напрямку їх мезофілізації, що може позитивно позначитися на збільшенні екологічної ємності цього місцезнаходження. У струк-

турі гігоморф угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах домінують мезофіли (59,6–71,2%) (табл. 2). Ксерофіли поступаються своїм значенням в угрупованні (26,6–40,4%). Гігрофіли та ультрагігрофіли трапляються епізодично. У спектрі гігоморф ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах домінують ксерофіли (66,3–81,1%). Мезофіли значно поступаються ксерофілам, але складають значну компоненту угруповання (16,7–33,4%). У спектрі гігоморф ґрунтової мезофауни педоземів ксерофіли та мезофіли мають приблизно рівне значення (32,2–53,4% та 46,3–66,5% відповідно).

**Таблиця 2**

Гігоморфічна структура угруповань ґрунтової мезофауни техноземів (% від загальної чисельності угруповання)

Тип техноземів	Рік	Ks	Ms	Hg	UHg
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	26,63	71,21	2,04	0,12
	2013	36,82	63,18	–	–
	2014	40,42	59,58	–	–
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	68,91	28,21	2,62	0,26
	2013	66,57	32,96	0,48	–
	2014	79,40	20,28	0,21	0,11
Педозем	2012	50,04	48,99	0,79	0,17
	2013	32,23	66,54	1,14	0,09
	2014	53,40	46,32	0,28	–
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	81,12	16,68	2,08	0,12
	2013	74,00	25,79	0,22	–
	2014	66,26	33,43	0,30	–

Примітка: Ks – ксерофіли, Ms – мезофіли, Hg – гігрофіли, UHg – ультрагігрофіли.

Найбільш адаптовані до ксерофільних умов існування угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах або на лесоподібних суглинках (Zhukov et al., 2017). У педоземах і дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах угруповання мають більш мезофільний характер. В окремі роки відбуваються спалахи чисельності гігрофілів у таких типах техноземів, що сформовані на червоно-бурих, сіро-зелених глинах або на лесоподібних суглинках, але ніколи такі спалахи не встановлені для педоземів. Частка гігрофілів в угрупованні вкрай низька. Трапляння ультрагігрофілів спорадичні. Очевидно, що серед гігрофілів та ультрагігрофілів зустрічаються винятково евритопіні представники.

**Режим живлення техноземів та трофоценоморфічна структура мезофауни.** У структурі трофоценоморф угруповання мезофауни дерново-літогенного ґрунту на лесоподібних суглинках за весь період дослідження домінують мегатрофоценоморфи (91,4–94,7%) (табл. 3).

**Таблиця 3**

Трофоценоморфічна структура угруповань ґрунтової мезофауни техноземів (% від загальної чисельності угруповання)

Тип техноземів	Рік	OlgTr	MsTr	MgTr	UMgTr
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	3,03	3,84	92,38	0,74
	2013	6,36	5,93	87,15	0,56
	2014	5,41	16,60	72,76	5,22
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	4,63	2,62	91,70	1,05
	2013	1,87	2,57	94,74	0,83
	2014	1,75	5,14	91,36	1,75
Педозем	2012	1,22	0,52	97,55	0,70
	2013	4,17	1,52	94,03	0,28
	2014	1,47	4,87	90,90	2,76
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	3,07	0,86	94,79	1,29
	2013	3,58	3,51	92,55	0,37
	2014	5,41	9,54	81,70	3,35

Примітка: OlgTr – оліготрофоценоморфи, MsTr – мезотрофоценоморфи, MgTr – мегатрофоценоморфи, UMgTr – ультрамегатрофоценоморфи.

Значно менше в угрупованні представлені мезотрофоценоморфи (2,6–5,1%) та ультрамегатрофоценоморфи (0,8–1,8%). Значно варіює частка в угрупованні оліготрофоценоморф (1,8–4,6%).

Таким чином, угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенного ґрунту на лесоподібних суглинках має загальний мегатрофний вигляд, що вказує на значний потенціал родючості цих техноземів. Основну частину трофоценоморф угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах складали мегатрофоценоморфи (72,8–92,4%). Частка мезотрофоценоморф варіювала у широких межах (3,8–16,6%). Порівняно стабільною, але незначною, була частка оліготрофоценоморф (3,0–5,4%). Ультрамегатрофоценоморфи перебували на рівні 0,6–0,7%, але у 2014 р. спостерігався значний спалах чисельності цієї трофоценоморфи до рівня 5,2%. У структурі трофоценоморф ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах превалюють мегатрофоценоморфи (91,7–94,8%). Частка мезотрофоценоморф становить 0,9–9,5%. У структурі трофоценоморф ґрунтової мезофауни педоземів також домінують мегатрофоценоморфи. Частка їх участі коливається у порівняно невеликих межах (90,9–97,6%). Таким чином, мегатрофоценоморфи в угрупованнях усіх типів техноземів є домінантами, що вказує на значний потенціал родючості штучно створених ґрунтів. Найбільша роль в угрупованні цієї трофоценоморфи характерна для педоземів, що природно, оскільки цей тип техноземів створений із застосуванням гумусованого чорноземовидного субстрату. Найстабільніша у часі частка мегатрофоценоморф угруповань мезофауни на лесоподібних суглинках. У свою чергу, для угруповань на сіро-зелених або червоно-бурих глинах цей показник вкрай нестабільний. У періоди значних флуктуацій мегатрофоценоморфи у цих техноземах заміщуються мезотрофоценоморфами. Ультрамегатрофоценоморфи та оліготрофоценоморфи – це факультативні компоненти угруповань, оскільки чисельність незначна та зазнає значних флуктуацій.

*ґрунтове повітря техноземів та аероморфічна структура мезофауни.* Аерація – показник, який відображає роль забезпечення ґрунту повітрям і роль цього фактора у перебігу хімічних процесів (окиснення чи відновлення), у формуванні складу та розвитку ґрунтової мікрофлори та може лімітувати поширення багатьох видів рослин. Аероморфи ґрунтових тварин – екологічні групи, які об'єднують види, що віддають перевагу подібним умовам аерації ґрунту. Аналогічно класифікації рослин, виділяють аерофіли, субаерофіли, геміаерофоби та субаерофоби (Zhukov et al., 2016). В угрупованнях ґрунтової мезофауни техноземів представлені аерофіли, субаерофіли та геміаерофоби (табл. 4).

**Таблиця 4**

Аероморфічна структура угруповань ґрунтової мезофауни техноземів (% від загальної чисельності угруповання)

Тип техноземів	Рік	APhil	SAPhil	HAPhob
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	76,84	13,75	9,41
	2013	81,68	17,29	1,03
	2014	61,26	32,84	5,89
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	80,26	18,86	0,87
	2013	85,52	12,30	2,17
	2014	79,08	17,50	3,42
Педозем	2012	83,90	8,75	7,35
	2013	78,20	11,56	10,24
	2014	65,81	21,60	12,59
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	86,57	10,48	2,94
	2013	85,98	8,47	5,55
	2014	64,13	31,46	4,41

Примітка: APhil – аерофіли, SAPhil – субаерофіли, HAPhob – субаерофоби.

Основу угруповання складають аерофіли. Стабільно висока їх частка характерна для угруповань дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках. Також високий рівень участі аерофілів в угрупованнях техноземів на сіро-зелених глинах, але у деякі роки їх частка може знижуватися. В дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах частка аерофілів може знижуватися суттєво. В останніх двох типах техноземів частка аерофілів під час зниження їх чисельності заміщується субаерофілами. В інших ґрунтах показник субаерофілів досить константний. Субаерофоби найбільшою мірою характерні для педоземів, де їх частка найбільша

серед досліджених техноземів. Таким чином, угруповання ґрунтових тварин техноземів переважно представлені формами, чутливими до рівня аерації ґрунтового простору. Умови, сприятливі для аерофілів та субаерофілів, утворюються за значного рівня шпаруватості аерації та міжагрегатної шпаруватості. Структура аероморф підкреслює значну здатність техноземів до утворення тріщин і пор. Гіпераерація не формує сприятливі екологічні умови у ґрунті, оскільки внаслідок цього створюються окисні умови та прискорюється випаровування вологи із ґрунту.

*Структура карбонатоморф мезофауни техноземів.* Карбонатоморфи – екологічна група, яка об'єднує ґрунтових тварин, що віддають перевагу подібним умовам карбонатності ґрунту. Аналогічно класифікації рослин, виділяють карбонатофоби, акарбонатофіли, гемікарбонатофіли, карбонатофіли та гіперкарбонатофіли. Усі вказані екологічні групи представлені в техноземах (табл. 5).

**Таблиця 5**

Структура карбонатоморф угруповань ґрунтової мезофауни техноземів (% від загальної чисельності угруповання)

Тип техноземів	Рік	Car-Phob	Acar-Phil	Hemi-CarPhil	CarPhil	Hiper-CarPhil
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	0,00	7,43	13,62	51,52	27,43
	2013	0,00	5,65	10,59	45,06	38,70
	2014	0,00	24,07	15,49	25,93	34,51
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	0,09	10,22	24,02	28,38	37,29
	2013	0,00	3,74	18,43	25,91	51,91
	2014	0,10	9,77	15,33	26,34	48,46
Педозем	2012	0,00	4,72	7,00	35,00	53,28
	2013	0,00	3,41	1,71	48,44	46,45
	2014	0,00	10,02	9,28	13,88	66,82
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	0,00	8,15	7,11	7,17	77,56
	2013	0,00	3,29	6,06	14,68	75,97
	2014	0,26	14,82	7,60	7,22	70,10

Примітка: CarPhob – карбонатофоби, ACarPhil – акарбонатофіли, HemiCarPhil – гемікарбонатофіли, CarPhil – карбонатофіли, HiperCarPhil – гіперкарбонатофіли.

Домінантна складова угруповання ґрунтової мезофауни – гіперкарбонатофіли. Гіперкарбонатофіли (облігатні карбонатофіли) – існують винятково на відкладах карбонатів (крейди, вапняків) ( $\text{CaO}, \text{MgO} > 10\%$ ) (Didukh, 2011). Найбільший рівень гіперкарбонатофілів характерний для педоземів і дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах.

Наступна за значимістю група карбонатофілів. Карбонатофіли віддають перевагу карбонатним ґрунтам ( $\text{CaO}, \text{MgO} = 5\text{--}10\%$ ) (Didukh, 2011). Найхарактерніші для угруповань дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах, їх дещо менше на техноземах на лесоподібних суглинках і педоземах. Частка на техноземах на сіро-зелених глинах незначна.

Гемікарбонатофіли поширені на чорноземах, достатньо збагачених карбонатами ( $\text{CaO}, \text{MgO} = 1,5\text{--}5,0\%$ ), що не вимиваються та можуть траплятися у вигляді невеликих включень, конкрецій (Didukh, 2011). Найхарактерніші для дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках і червоно-бурих глинах. В останньому випадку спостерігається висока варіабельність цього показника по роках.

Акарбонатофіли існують у нейтральних екотопах і витримують незначний вміст карбонатів у ґрунті ( $\text{CaO}, \text{MgO} = 0,5\text{--}1,5\%$ ), які завдяки промивному режиму не піднімаються у верхні шари. З одного боку, це сірі лісові ґрунти, що хоча й формуються на лесовій основі, але характеризуються процесами опідзолення. З іншого – це солонці, солончаки, де карбонатна основа заміщується сульфатами та хлоридами (Didukh, 2011). Найхарактерніші для дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах.

Карбонатофоби нечисленні, трапляються спорадично. Карбонатоморфи безпосередньо віддзеркалюють ставлення тварин до вмісту у ґрунті кальцію, який найбільше міститься у формі карбонатів. Багато тварин – кальцефіли, що відповідає карбонатфілам або гіперкарбонатфілам. Кальцій – важливий агент чорноземного типу ґрунтоутворення. У ґрунтовому поглинальному комплексі з кальцієм можуть конкурувати натрії за умов засолення ґрунтів. Замі-

щення кальцію натрієм спричиняє втрати водостійкості ґрунтової структури. Крім того, самі ґрунтові тварини можуть бути фактором формування агрегатної структури. Структура може мати зоогенне походження. Це можуть бути як копроліти, так і безпосередньо екзувій або черепашки тварин-кальцефілів.

Структура карбонатоморф вказує на те, що оптимальні умови для формування агрономічно цінної структури ґрунту характерні для дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках. За задумом створення педоземів найсприятливіші умови повинні бути саме в них, але зооіндикація вказує на певні недоліки такої конструкції. Горизонтальна штовхана стратифікація педоземів – головний недолік такої конструкції. Гомогенний характер техноземів має значно більший позитивний динамічний потенціал для ґрунтогенезу в контексті формування повнопрофільних високопродуктивних ґрунтів, які можуть використовуватися в сільському господарстві.

*Вертикальний розподіл функціональної активності в екосистемах техноземів і топоморфічна структура мезофауни.* У спектрі топоморф утворення ґрунтової мезофауни ґрунтових тварин усіх типів техноземів домінують епігейні форми (табл. 6). Частка епігейних форм дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках найменша серед усіх техноземів (68,1–91,8% утворення). Найбільша частка епігейних форм характерна для педоземів (76,7–89,9%) та для техноземів на сіро-зелених глинах (68,1–91,6%).

**Таблиця 6**

Топоморфічна структура утворення ґрунтової мезофауни техноземів (% загальної чисельності утворення)

Тип техноземів	Рік	Anec	End	Ep
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	0,19	13,87	85,94
	2013	0,51	15,41	84,08
	2014	0,42	30,95	68,63
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	0,79	33,80	65,41
	2013	0,52	18,09	81,39
	2014	0,21	37,78	62,01
Педозем	2012	0,35	9,71	89,94
	2013	0,38	12,80	86,82
	2014	0,46	22,89	76,65
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	0,61	11,53	87,86
	2013	0,44	7,96	91,60
	2014	0,76	31,16	68,09

*Примітки:* Anec – норники, End – ендегейні, Ep – епігейні.

Характерна особливість техноземів на лесоподібних суглинках – найбільша серед усіх утворення частка ендегейних форм. Топоморфи загалом вказують на розподіл активності ґрунтоутвірних процесів та роль у ньому тварин. Тварини мають велике значення у трансформації органічної речовини. Можливість поширення біотичної складової ґрунтоутвірних процесів вплив гірської породи – важлива умова швидкості трансформації гірських порід у родючий ґрунт. Ендегейна складова комплексу ґрунтових безхребетних досить консервативна, вона може розглядатися як маркер стійкості утворення. Оптимальна екологічна структура утворення ґрунтової мезофауни характерна для дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках. Таким чином, на фоні загального степового характеру, утворення ґрунтової мезофауни мають топоморфічну структуру, не характерну для природних степових біогеоценозів чорноземів на лесоподібних суглинках. Більшою мірою переважання епігейних форм властиве степовим утворенням на пісках борових терас степових річок (Zhukov, 2015).

*Форморфічна структура мезофауни техноземів.* У спектрі форморф утворення ґрунтової мезофауни ґрунтових тварин дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках домінують види, які належать до форморф А<sub>3</sub> – тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів і розміри тіла яких більші за порожнини у підстильці (табл. 7).

Підлегле положення у структурі форморф займають тварини, які належать до форморф В<sub>4</sub> – ті, що активно прокладають свердловини та ходи, змінюючи товщину тіла. Частка інших форморф порівняно незначна. Ценоморфічний аналіз свідчить про те, що тваринне населення дерново-літогенних ґрунтів на лесопо-

дібних суглинках можна охарактеризувати як степовий моноценоз. За преференцією умов вологості едафотопу – як мезоксерофільне, тобто таке, що тяжіє до сухуватих біотопів.

**Таблиця 7**

Форморфічна структура утворення ґрунтової мезофауни техноземів (% загальної чисельності утворення)

Тип техноземів	Рік	А			В			
		1	2	3	4	5	6	7
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	3,34	0,37	82,91	0,50	–	11,21	1,67
	2013	6,34	0,51	78,08	0,68	–	13,87	0,51
	2014	11,37	1,47	56,84	4,84	0,42	18,95	6,11
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	5,41	1,05	60,26	26,90	0,09	4,54	1,75
	2013	1,00	0,91	79,96	13,48	0,35	2,00	2,30
	2014	2,24	0,43	59,34	31,70	0,21	4,48	1,60
Педозем	2012	0,96	0,79	89,15	0,79	0,09	7,61	0,61
	2013	0,38	0,76	86,26	0,47	–	11,94	0,19
	2014	3,13	0,46	73,35	2,21	0,74	17,56	2,57
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	3,56	0,86	84,37	0,55	–	9,93	0,74
	2013	2,78	0,51	88,82	0,95	–	6,65	0,29
	2014	5,78	0,76	62,16	6,08	0,61	20,52	4,10

*Примітки:* А – переміщення за допомогою існуючої шпаруватості ґрунту; В – активне прокладання ходів; 1 – розміри тіла менші шпар у ґрунті; 2 – розміри тіла співрозмірні з тріщинами; 3 – розміри тіла більші порожнин у підстильці або співрозмірні з великими щілинами або тріщинами у ґрунті; 4 – переміщення зі зміною товщини тіла; 5 – переміщення без змін товщини тіла; 6 – риття нір за допомогою кінцівок; 7 – С-подібна форма тіла.

Утворення безхребетних на дерново-літогенних ґрунтах на лесоподібних суглинках в аспекті трофоценоморфічної структури можна охарактеризувати як таке, що тяжіє до багатих, родючих ґрунтів. Із погляду топоморфічної структури превалюють епігейні види, у підлеглому положенні перебувають ендегейні, частка норників в утворенні незначна. Це вказує на відносно високий рівень активності ґрунтової мезофауни у підстилькових горизонтах ґрунту порівняно з мінеральними. З погляду трофоморфічної структури, в утворенні домінують фітофаги, що свідчить про переважання процесів мінералізації над процесами гуміфікації.

У структурі форморф утворення ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах також домінують тварини, які належать до форморф А<sub>3</sub> – тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів і розміри тіла яких більші за порожнини у підстильці. Підлегле положення займають форми, віднесені до форморф В<sub>6</sub> (тварини, які активно прокладають свердловини у ґрунті та риють нори за допомогою кінцівок) та А<sub>1</sub> (тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів і розміри тіла яких більші за порожнини у підстильці). У спектрі форморф ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах домінують організми, віднесені до форморф А<sub>3</sub>. У підлеглому положенні – форморфа В<sub>6</sub>. У спектрі форморф ґрунтової мезофауни педоземів домінує форморфа А<sub>3</sub> протягом усього періоду дослідження.

*Трофоморфічна структура мезофауни техноземів.* У структурі трофоморф утворення ґрунтової мезофауни ґрунтових тварин дерново-літогенних ґрунтів на лесоподібних суглинках весь період дослідження домінують фітофаги – 55,5–66,9% (табл. 8). Особливість дерново-літогенних ґрунтів полягає у порівняно значній частці сапрофагів в утворенні, що становить 29,7–39,7%. Зоофаги займають підлегле положення – 2,6–4,9%.

У структурі трофоморф ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на червоно-бурих глинах ключову роль відігравали сапрофаги (22,3–51,0%) та фітофаги (45,3–63,2%). Частка зоофагів становила 3,8–14,5%. У структурі трофоморф ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах протягом усього періоду дослідження превалюють фітофаги, частка їх коливається в межах 82,0–89,0%. Відсоток сапрофагів становив 3,3–12,6%. Частка зоофагів поступово збільшується з року в рік – 3,7% (2012 р.), 5,3% (2013 р.), 9,6% (2014 р.). У структурі трофоморф ґрунтової мезофауни педоземів домінували фітофаги (49,2–83,4%). У підлеглому положенні перебували сапрофаги (13,4–46,5%) та зоофаги (2,8–4,4%).



Таблиця 8

Трофоморфічна структура  
угруповань ґрунтової мезофауни техноземів

Тип техноземів	Рік	FF	SF	ZF
Дерново-літогенні ґрунти на червоно-бурих глинах	2012	45,26	50,96	3,78
	2013	46,40	44,01	9,59
	2014	63,16	22,32	14,53
Дерново-літогенні ґрунти на лесоподібних суглинках	2012	55,46	39,65	4,89
	2013	64,96	32,52	2,52
	2014	66,92	29,67	3,42
Педозем	2012	62,03	35,17	2,80
	2013	49,19	46,45	4,36
	2014	83,36	13,42	3,22
Дерново-літогенні ґрунти на сіро-зелених глинах	2012	89,03	7,23	3,74
	2013	82,03	12,64	5,33
	2014	87,08	3,34	9,57

Примітки: SF – сапрофаги, FF – фітофаги, ZF – зоофаги.

Можна зазначити, що вигляд угруповання безхребетних дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах із точки зору ценоморфічного аналізу воліє до степових біоценозів. У гігоморфічному аспекті угруповання можна охарактеризувати як мезоксерофільне, яке тяжіє до сухуватих біотопів. У трофоценоморфічній структурі домінують мегатрофоценоморфи. Отже, угруповання ґрунтової мезофауни віддає перевагу біотопам із багатими, родючими ґрунтами. У спектрі топоморф превалюють епігейні, які бігають по поверхні ґрунту, форми. Це свідчить про кращий розвиток органічних горизонтів порівняно з мінеральними горизонтами ґрунту. У структурі трофоморф значно переважає кількість фітофагів, що індикує переважання процесів мінералізації рослинних залишків над процесом гуміфікації. У спектрі фороморф домінує фороморфа  $A_3$  – тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів і розміри тіла яких більші за порожнини у підстильці, що також свідчить про кращий розвиток органічних порівняно з мінеральними горизонтами ґрунту.

Вигляд угруповання безхребетних педоземів із погляду ценоморфічного аналізу воліє до степових біоценозів. У гігоморфічному аспекті у 2012 та 2014 рр. угруповання можна охарактеризувати як мезоксерофільне, яке тяжіє до сухуватих біотопів. У 2013 році угруповання ксеромезофільне та воліє до свіжуватих біотопів. У трофоценоморфічній структурі домінують мегатрофоценоморфи, тому угруповання ґрунтової мезофауни віддає перевагу біотопам із багатими, родючими ґрунтами. У спектрі топоморф превалюють епігейні, які бігають по поверхні ґрунту, форми, що свідчить про кращий розвиток органічних порівняно з мінеральними горизонтами ґрунту. У структурі трофоморф у 2012 та 2014 р. значно переважає кількість фітофагів, а, отже, і процес мінералізації рослинних залишків над процесом гуміфікації. У 2014 році домінуюче положення займали також сапрофаги та фітофаги. Це свідчить про те, що процеси мінералізації та гуміфікації відбувалися на одному рівні. У спектрі фороморф домінує фороморфа  $A_3$  – тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів і розміри тіла яких більші за порожнини у підстильці, що також свідчить про кращий розвиток органічних порівняно з мінеральними горизонтами технозему.

## Висновки

В угрупованнях ґрунтової мезофауни техноземів встановлено 123 види безхребетних тварин. Ці угруповання – степовий моноценоз зі схильністю до трансформації у псевдомоноценоз за рахунок збільшення ролі пратантів. Найадагтованіші до ксерофільних умов існування – угруповання ґрунтової мезофауни дерново-літогенних ґрунтів на сіро-зелених глинах і на лесоподібних суглинках. У педоземах і дерново-літогенних ґрунтах на червоно-бурих глинах угруповання мають більш мезофільний характер. Трофоценоморфічна структура угруповання ґрунтової мезофауни вказує на значний потенціал родючості штучно створених ґрунтів. Структура аероморф підкреслює значну здатність техноземів до утворення тріщин і пор та, відповідно, до гіпераерації. Домінантна

складова угруповання ґрунтової мезофауни – гіперкарбонатифілі. На фоні загального степового характеру, угруповання ґрунтової мезофауни мають топоморфічну структуру, не характерну для природних степових біоценозів чорноземів на лесоподібних суглинках. У структурі трофоморф значно переважає кількість фітофагів, що індикує переважання процесів мінералізації рослинних залишків над процесом гуміфікації. У спектрі фороморф домінують тварини, які пересуваються без активного прокладання ходів.

## References

- Akimov, M. P. (1954). Biomorphological method of studying of biocoenosis. Bulletin of Naturalists Society, 59(3), 27–36.
- Andrusevich, K. V., Zhukov, A. V., & Kunah, O. N. (2014). Ecomorphic organisation of the mesopedobionts community as the basis of the anthropogenic soils zoological diagnostic. The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, 22, 89–97.
- Barois, I., Vilemin, G., Lavelle, P., & Toutain, F. (1993). Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. Geoderma, 56, 57–66.
- Brygadyrenko, V. V. (2016). Effect of canopy density on litter invertebrate community structure in pine forests. Ekologia (Bratislava), 35(1), 90–102.
- Brygadyrenko, V. V. (2016). Influence of litter thickness on the structure of litter macrofauna of deciduous forests of Ukraine's steppe zone. Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology, 24(1), 240–248.
- Decaëns, T., & Rossi, J. P. (2001). Spatio-temporal structure of earthworm community and soil heterogeneity in a tropical pasture. Ecography, 24(6), 671–682.
- Decaëns, T., Jiménez, J. J., Gioia, C., Measey, G. J., & Lavelle, P. (2006). The values of soil animals for conservation biology. European Journal of Soil Biology, 42(1), S23–S38.
- Didukh, Y. P. (2011). The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Phytosociocentre, Kyiv.
- Drake, J. A. (1990). Communities as assembled structures: Do rules govern pattern? Trends in Ecology and Evolution, 5, 159–164.
- Faly, L. I., Kolombar, T. M., Prokopenko, E. V., Pakhomov, O. Y., & Brygadyrenko, V. V. (2017). Structure of litter macrofauna communities in poplar plantations in an urban ecosystem in Ukraine. Biosystems Diversity, 25(1), 29–38.
- Gilarov, M. S. (1965). Zoological methods of the soils diagnostic. Nauka, Moscow.
- Gongalsky, K. B., Gorshkova, I. A., Karpov, A. I., & Pokarzhievskii, A. D. (2008). Do boundaries of soil animal and plant communities coincide? A case study of a Mediterranean forest in Russia. European Journal of Soil Biology, 44(4), 355–363.
- Gongalsky, K. B., Zaytsev, A. S., & Savin, F. A. (2009). Spatial distribution of soil animals: A geostatistical approach. Biology Bulletin Reviews, 70(6), 484–494.
- Jiménez, J. J., Decaëns, T., Lavelle, P., & Rossi, J.-P. (2014). Dissecting the multi-scale spatial relationship of earthworm assemblages with soil environmental variability. BMC Ecology, 14–26.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. Oikos, 69, 373–386.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. Ecology, 78(7), 1946–1957.
- Kharytonov, M., Babenko, M., Velychko, O., & Pardini, G. (2018). Prospects of medicinal herbs management in reclaimed minelands of Ukraine. Ukrainian Journal of Ecology, 8(1), 527–532.
- Krivolutsky, D. A. (1994). Soil fauna in ecological control. Nauka, Moscow.
- Kunah, O. N. (2016). Functional and spatial structure of the urbotechnozem mesopedobiont community. Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology, 24(2), 473–483.
- Kunah, O. N., Prokopenko, E. V., & Zhukov, A. V. (2014). Ecomorphic organisation of the Ukraine steppe zone spider community. Gruntoznavstvo, 15, 101–119.
- Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O. W., & Dhillon, S. (1997). Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. European Journal of Soil Biology, 33, 159–193.
- Mordkovich, V. G. (1977). Zoological diagnostics of the soil in forest-steppe and steppe zones of the Siberia. Nauka, Novosibirsk.
- Mordkovich, V. G. (2013). Zoological diagnostic of the soils: Imperatives, function and place in the soil science and pedology. Journal of General Biology, 74(6), 463–471.
- Rossi, J. P. (2003). Clusters in earthworm spatial distribution. Pedobiologia, 47, 490–496.
- Svyrydchenko, A. O., & Brygadyrenko, V. V. (2014). Trophic preferences of *Rossius kessleri* (Diplopoda, Julidae) for the litter of various tree species. Folia Oecologica, 41(2), 202–212.
- Whalen, J. K. (2004). Spatial and temporal distribution of earthworm patches in corn field, hayfield and forest systems of southwestern Quebec, Canada. Applied Soil Ecology, 27(2), 143–151.
- Williams, V. R. (1947). Pedology. Selhozgiz, Moscow.

- Zhukov O. V., Zadorozhna, G. O., Maslikova, K. P., Andrushevych, K. V., & Lyadskaya, I. V. (2017). Tehnosoils ecology. Zhurfond, Dnipro.
- Zhukov, A. V. (2015). Phytoindicator estimation of the multidimensional scaling of the plant community structure. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 1(1), 69–93.
- Zhukov, A. V., & Shatalin, D. B. (2016). Hygrotope and trophotope of the steppe prydniprovie biogeocoenosis as determinants of the earthworms (*Lumbriidae*) communities  $\beta$ -diversity. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6 (2), 129–157.
- Zhukov, A. V., & Zadorozhnaya, G. A. (2016). Spatio-temporal dynamics of the penetration resistance of recultivated soils formed after open cast mining. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(2), 324–331.
- Zhukov, A. V., Kunah, O. N., Novikova, V. A., & Ganzha, D. S. (2016). Phytoindication estimation of soil mesopedobionts communities catena and their ecomorphic organization. *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*, 6(3), 91–117.
- Zhukov, O. V. (2009). Ecomorphological analysis of soil animal consortia. Svidler, Dnepropetrovsk.
- Zhukov, O. V., Kunah, O. M., & Dubinina, Y. Y. (2017). Sensitivity and resistance of communities: Evaluation on the example of the influence of edaphic, vegetation and spatial factors on soil macrofauna. *Biosystems Diversity*, 25(4), 328–341.
- Zhukov, O. V., Kunah, O. N., & Novikova, V. A. (2016). The functional organization of the mesopedobionts community of sod pinewood soils on arena of the river Dnepr. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(1), 26–39.
- Zverkovskyi, V. M., Sytnyk, S. A., Lovynska, V. M., Kharytonov, M. M., & Mykolenko, S. Y. (2017). Remediation potential of forest-forming species in the reclamation planting. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(3), 64–72.