

Diagnostics of lithic discontinuity of soils based on fractal properties of coarse/fine-related distribution

V. M. Yakovenko, A. V. Kotovich

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 15.10.2018

Received in revised form
22.10.2018

Accepted 27.10.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-066-559-68-06
E-mail: yakovenko_v@i.ua*

Yakovenko, V. M., & Kotovich, A. V. (2018). Diagnostics of lithic discontinuity of soils based on fractal properties of coarse/fine-related distribution. Ecology and Noospherology, 29(2), 111–118. doi:10.15421/031818

In the study of soil genesis and the determination of their systematic position, the diagnosis of the lithological heterogeneity of the parent rock is important. In the World Reference Base of Soil Resources (IUSS Working Group WRB 2015) lithological heterogeneity is defined as significant changes in the particle size or mineralogical composition, which reflect the lithological differences within the soil profile and a number of diagnostic criteria for lithological heterogeneity are given. At the level of soil microstructure, these are the characteristics of the relative distribution of coarse and fine particles of the solid phase (c/f relative distribution). Using the example of forest soils formed on colluvial sediments, we consider the possibility of using the fractal properties of the c/f relative distribution to diagnose the lithological heterogeneity of the genetic profile of the soil and establish the contrast of such heterogeneity. A micromorphological study of the soils formed on the parent rocks of loamy and clay granulometric composition reveals the fractal structure of the relative distribution of coarse and fine particles, which is the quantitative and qualitative characteristic of the solid phase and is not recognized by the particle size analysis. In the study with different magnifications, the multilevel structure of the c/f of the relative distribution is manifested in the possibility of selecting not one, but several c/f thresholds with corresponding characteristics for each. It is important that the overall picture of the microstructure at each level of the c/f of the relative distribution is similar to the picture at other levels. The algorithm for studying the fractal properties of the relative distribution is made up of successive stages: revealing the presence of the fractal structure of the c/f relative distribution; determination of similarity levels; determination of the morphometric parameters of the relative distribution at each of the revealed levels of similarity, which include the c/f threshold, the dimension of the coarse fraction, c/f ratio. An additional parameter is the spatial distribution of coarse particles at each level. The studied forest soils of the Prysamaria are characterized by a three-level fractal structure of the organization of the relative distribution of the granulometric elements of the microstructure. At each of the levels of relative distribution, the pattern of microstructure is similar to the levels highlighted in other scales. It was revealed that the profile of Luvic Chernic Phaeozem on the slope of the beam is lithologically inhomogeneous. Subsoil horizons outside the genetic profile of the soil differ in morphometric parameters at the second and third levels of the relative distribution of coarse and fine particles.

Keywords: micromorphology soils; level of similarity; c/f limit; c/f ratio

Діагностика літологічної неоднорідності ґрунтів за фрактальними властивостями відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних часток твердої фази

В. М. Яковенко, О. В. Котович

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Показано, що при мікроморфологічному дослідженні ґрунтів, сформованих на материнських породах суглинкового та глинистого гранулометричного складу, виявляється фрактальна структура відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних

часток (гд/тд відносний розподіл), що поєднує в собі кількісну та якісну характеристику твердої фази і не розпізнається гранулометричним аналізом. Запропоновано використання фрактальних властивостей гд/тд відносного розподілу для діагностики літологічної неоднорідності генетичного профілю ґрунтів в встановлення контрастності такої неоднорідності. З'ясовано, що досліджені лісові ґрунти Присамар'я характеризуються тривірневою фрактальною структурою організації відносного розподілу гранулометричних елементів мікробудови. На кожному з рівнів відносного розподілу картина мікробудови подібна до рівнів, виділених в інших масштабах.

Ключові слова: мікроморфологія ґрунтів; рівні подібності; гд/тд поріг; гд/тд співвідношення

Вступ

При дослідженні генезису ґрунтів та визначенні їх систематичного положення суттєве значення має діагностика літологічної неоднорідності материнської породи. У Світовій реферативній базі ґрунтових ресурсів (IUSS Working Group WRB 2015) наведено ряд діагностичних критеріїв літологічної неоднорідності, яка визначається як суттєві зміни у гранулометричному або мінералогічному складі, що відображають літологічні відмінності в межах профілю ґрунту.

На рівні мікробудови ґрунтів такими є характеристики відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних часток твердої фази (елементарна мікробудова за Парфеновою та Яриловою (Parfyonova, Yaglova, 1977). Встановлення порогу розмірності між грубо- та тонкодисперсними частками залежить від гранулометричного складу і може суттєво варіювати у різних ґрунтах або частинах профілю у випадку наявності літологічної неоднорідності (Gerasimova et al., 1992; Stoops, 2003).

При дослідженні з різним збільшенням суглинкових і глинистих за гранулометричним складом ґрунтів і порід виявляється багаторівнева структура гд/тд відносного розподілу, що проявляється у можливості виділення не одного, а декількох гд/тд порогів з відповідними для кожного характеристиками. Важливо, що загальна картина мікробудови на кожному з рівнів гд/тд відносного розподілу є подібною до картини інших рівнів. Такі особливості мікроморфологічної організації відповідають визначенню фрактальних структур для різних природних об'єктів (Mandelbrot, 1982; Feder, 1991; Bozhokin, Parshin, 2001; Mogozyov, 2002).

У нашій роботі на прикладі лісових байрачних ґрунтів розглядається можливість використання для діагностики літологічної неоднорідності профілю суглинкових ґрунтів фрактальних властивостей відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних часток твердої фази.

Профіль лісових ґрунтів байрачних екосистем Степового Придніпров'я формується в динамічних умовах, під впливом складного комплексу факторів. Серед основних процесів, які формують тип будови генетичного профілю та морфологічні властивості лісових ґрунтів, виділяється процес транспортування та відкладення делювіального матеріалу в ерозійних елементах мезорельєфу. Внаслідок таких процесів ґрунтоутворюючими породами байрачних ґрунтів є делювіальні відклади різної потужності на поверхнях ерозійного походження. Текстура диференціація профілю внаслідок лесиважу додатково ускладнює загальну картину морфологічної будови лісових ґрунтів.

Тому для діагностики і розуміння генезису лісових ґрунтів на делювіальних відкладах важливим є встановлення літологічної неоднорідності генетичного профілю на основі критеріїв переходу між літологічно відмінними частинами профілю та контрастністю таких переходів.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводились у Новомосковському районі Дніпропетровської області на Присамар'ї, що є частиною Степового Придніпров'я. Територія району інтенсивно використовується в сільськогосподарському виробництві, тому степова рослинність зберігається лише на не

придатних для обробітку ґрунту ділянках, зокрема на схилах балок та байраків. Лісова рослинність представлена байрачними, заплавними та аренними лісами. Основні породи – дуб звичайний (*Quercus robur* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), клен польовий (*Acer campestre* L.), в'яз граболистий (*Ulmus minor* Mill.), клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.).

Досліджені ґрунтові розрізи закладені у верхів'ї байраку Глибокого на схилі південної експозиції, який знаходиться на плакорній частині привододільно-балкового ландшафту у 2 км на північ від с. Андріївки. Катена представлена трьома типовими розрізами ґрунтів – на степовій цілині між полем та узліссям (ПП 115-В), середній третині схилу (ПП 111-В) і тальвезі (ПП 109-В) байраку (табл. 1). Характеристика екологічних умов ґрунтоутворення та повна макроморфологічна характеристика профілів ґрунтів наведена в роботах Yakovenko (2014) та Yakovenko, Bilova (2015).

Характеристика умов зволоження визначалась за Л. П. Травлєєвим (Travleev, 1977), генетичний тип будови профілю ґрунтів – за Б. Г. Розановим (Rozanov, 2004). У роботі застосовується класифікація ґрунтів за WRB (IUSS Working Group WRB, 2015) і номенклатура ґрунтів, уживана в працях Комплексної експедиції Дніпровського національного університету з вивчення природних та штучних лісів степової зони України. Зразки непорушеної будови для мікроморфологічних досліджень відбирались за генетичними горизонтами ґрунтів, зразки підґрунтових горизонтів відбирались із використанням ґрунтового бура. Виготовлення прозорих шліфів відбувалось із використанням натуральних смол (Добровольский, 1983).

Визначення типу гд/тд відносного розподілу проводилось за Stoops (2003), мікроморфометричні вимірювання розмірів мінеральних зерен та вмісту скелетної частини мікробудови проводились за Е. І. Гагаріною (Gagarina, 2004). Фотоматеріали отримані з використанням цифрової фотокамери eTREK DCM320.

Результати та їх обговорення

У районі досліджень широко розвинені процеси водної ерозії розораних територій навколо байраків. Особливо цьому сприяють літні зливи, притаманні для степової зони. У результаті байрачні екосистеми в районі досліджень акумулюють значні відклади делювіального матеріалу, а території, прилеглі до узлісь байраків, є зоною транзиту делювіальних потоків з більш віддалених територій.

Морфологічна будова ґрунтів катени відображає особливості динамічних екологічних умов байрачного ґрунтогенезу.

Чорноземи звичайні (Calcic Chernozem) поблизу узлісся (ПП 115-В) знаходяться в умовах атмосферно-транзитного припливно-відпливного зволоження. Тип будови профілю нормальний, з ознаками змитості частини поверхневого горизонту: H_0 (3,5–0 см) – повсть з переплетених між собою живих і відмерлих трав; Hdk (0–6 см) – поверхневий, гумусово-аккумулятивний, дерновий, середньосуглинковий, карбонатний горизонт; Hrk (6–27 см) – перший перехідний середньосуглинковий, карбонатний горизонт; Phk (27–40 см) – другий перехідний важкосуглинковий, карбонатний горизонт; Pk (40–120 см) – материнська порода – карбонатний глинистий лес.

Таблиця 1

Характеристика місць досліджень і класифікація ґрунтових профілів

Профіль	Місцезнаходження	Форма рельєфу	Рослинність	Класифікація*
ПП 115-В	48°47'19.1"N 035°27'19.5"E 114 м над рівнем моря	Схил 3°, експозиція південна	<i>Festuca valesiaca</i> Schleich <i>Poa angustifolia</i> L. <i>Poa nemoralis</i> L. <i>Lathyrus tuberosus</i> L. <i>Achillea millefolium</i> L. <i>Salvia nemorosa</i> L.	Чорнозем звичайний / Calcic Chernozem (Loamic, Tonguic)
ПП 111-В	48°47'19.1"N 035°27'19.5"E 88 м над рівнем моря	Схил 14°, експозиція південна	<i>Fraxinus exelsior</i> L. <i>Acer campestre</i> L. <i>Ulmus minor</i> Mill. <i>Tilia cordata</i> Mill. <i>Acer platanoides</i> L.	Чорнозем лісовий / Luvic Chernic Phaeozem (Colluvic, Loamic, Pachic)
ПП 109-В	48°47'17.5"N 035°27'16.5"E 76 м над рівнем моря	Тальвег	<i>Quercus robur</i> L. <i>Fraxinus exelsior</i> L. <i>Acer campestre</i> L. <i>Ulmus minor</i> Mill. <i>Tilia cordata</i> Mill. <i>Acer platanoides</i> L.	Лучно-чорноземний ґрунт / Luvic Gleyic Chernic Phaeozem (Colluvic, Loamic, Pachic)

* Класифікація ґрунтів: за номенклатурою Комплексної еспедиції ДНУ / відповідно до WRB (2015).

Чорноземи лісові (Luvic Chernic Phaeozem) на схилах (ПП 111-В) формуються в умовах атмосферно-транзитного припливно-відпливного зволоження на делювіальних гумусованих відкладах суглинкового гранулометричного складу. Тип будови профілю поліциклічний: H_0 (2–0 см) – лісова підстилка з листя різного ступеня розкладення; H_{1el} (0–9 см) – поверхневий гумусово-акумулятивний елювіальний лесивований легкосуглинковий горизонт; H_{2el} (9–46 см) – другий гумусово-акумулятивний елювіальний лесивований важкосуглинковий горизонт; H_{3el} (46–88 см) – третій гумусово-акумулятивний елювіальний лесивований глинистий горизонт; H_{4il} (88–138 см) – гумусово-акумулятивний ілювіальний лесивований глинистий горизонт; H_{p1l} (138–160 см) – перший перехідний ілювіальний лесивований глинистий горизонт; Ph_{ilk} (160–187 см) – другий перехідний ілювіальний лесивований глинистий горизонт; P_{ilk} (187–230 см) – ілювіальний лесивований глинистий карбонатний горизонт делювіальної материнської породи; P_{1k} (230–250 см) – глинистий карбонатний горизонт; P_{2k} (250–300 см) – глинистий карбонатний горизонт; P_{3k} (300–350 см) – глинистий карбонатний горизонт.

Лучно-чорноземні ґрунти (Luvic Gleyic Chernic Phaeozem) в тальвезі (ПП 109-В) формуються на делювіальних гумусованих відкладах важкосуглинкового гранулометричного складу в умовах транзитного атмосферно-ґрунтового припливно-відпливного зволоження. Тип будови профілю поліциклічний: H_0 (3–0 см) – лісова підстилка з листя і відмерлих трав; H_{1el} (0–8 см) – поверхневий гумусово-акумулятивний елювіальний лесивований легкосуглинковий горизонт; H_{2el} (8–34 см) – другий гумусово-акумулятивний елювіальний лесивований важкосуглинковий горизонт; H_{3el} (34–60 см) – третій гумусово-акумулятивний елювіальний лесивований важкосуглинковий горизонт; H_{4il} (60–118 см) – гумусово-акумулятивний ілювіальний лесивований важкосуглинковий горизонт; H_{p1l} (118–132 см) – перший перехідний ілювіальний лесивований глинистий горизонт; Ph_{il} (132–166 см) – другий перехідний ілювіальний лесивований глинистий горизонт; Ph (166–200 см) – третій перехідний глинистий горизонт; P_1 (200–240 см) – глинистий горизонт; P_{2k} (240–260 см) – глинистий карбонатний горизонт.

Фрактальні властивості гд/тд відносного розподілу

Алгоритм вивчення фрактальних властивостей відносного розподілу складається з послідовних етапів:

1) виявлення наявності фрактальної структури гд/тд відносного розподілу; 2) визначення рівнів подібності; 3) визначення морфометричних параметрів відносного розподілу на кожному з виявлених рівнів подібності, до яких відносяться гд/тд поріг, розмірність грубої фракції, гд/тд співвідношення. Додатковим параметром є особливості просторового розподілу грубих часток на кожному з рівнів.

Виділення рівнів подібності фрактальної структури проводиться в різному масштабі, із застосуванням малих ($\times 35$), середніх ($\times 90$) і великих ($\times 200$) збільшень. При малому збільшенні виявляється перший рівень відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних часток і проводяться морфометричні вимірювання. На другому етапі, при середніх збільшеннях, досліджується матеріал, віднесений до тонкодисперсного при малих збільшеннях. Визначається гд/тд поріг та інші морфометричні показники. На третьому етапі алгоритм дій повторюється – при великих збільшеннях досліджується матеріал, віднесений до тонкодисперсного при середніх збільшеннях.

Як модель багаторівневої подібності гд/тд відносного розподілу в різних масштабах відповідає геометричний фрактал килим Серпинського (рис. 1).

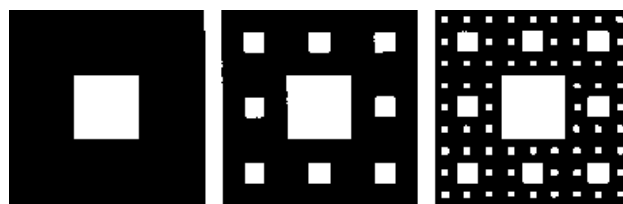


Рис. 1. Кроки побудови килиму Серпинського (Feder, 1991) аналогічні виділенню рівнів подібності відносного розподілу при мікроморфологічних дослідженнях.

Важливо зазначити, що фрактальна структура відносного розподілу виявляється як візуальний образ мікроморфологічної організації, що сполучає в собі кількісну та якісну характеристику твердої фази і не дублює та не розпізнається гранулометричним аналізом, оскільки порогові значення при виділенні конкретного рівня відносного розподілу не пов'язані з градаціями фракцій при гранулометричному аналізі (наприклад, класифікації гранулометричних елементів наведені в роботі (Vadyunina, Korchagina, 1986) та в Guidelines for soil description (2006)).

Комплексна характеристика, отримана в такий спосіб, дозволяє діагностувати літологічну однорідність або неоднорідність профілю і ступінь контрастності останньої (табл. 2).

Чорнозем звичайний (*Calcic Chernozem*)

Тип гд/тд відносного розподілу – порфірік. Гд/тд відносний розподіл дослідженого ґрунту має трирівневу фрактальну структуру (рис. 2). Поріг виділення першого рівня гд/тд відносного розподілу становить 0,15 мм по всьому профілю. Верхня межа розмірності грубодисперсної фракції варіює в різних горизонтах від 0,29 до 0,45 мм. Вміст зерен грубодисперсної фракції незначний, не перевищує 1 %. Просторовий розподіл грубих часток нерівномірний, неупорядкований.

Поріг виділення другого рівня гд/тд відносного розподілу дорівнює 0,02 мм по всьому профілю. Основу

грубодисперсної фракції в ґрунтових горизонтах становлять зерна розміром 0,02–0,1 мм, у лесовій материнській породі 0,02–0,09 мм. Вміст грубодисперсних часток у ґрунтових горизонтах становить 14–15 %, у материнській породі – 10 %. Просторовий розподіл грубих часток на цьому рівні подібності відносного розподілу характеризується рівномірністю.

Поріг виділення третього рівня відносного розподілу дорівнює 0,005 мм. Основу грубої фракції складають частки розміром 0,005–0,01 мм як у профілі ґрунту, так і в материнській породі. Просторовий розподіл грубодисперсних часток рівномірний.

Визначені характеристики гд/тд відносного розподілу ґрунтових горизонтів і ґрунтоутворюючої породи свідчать про літологічну однорідність профілю досліджуваних ґрунтів.

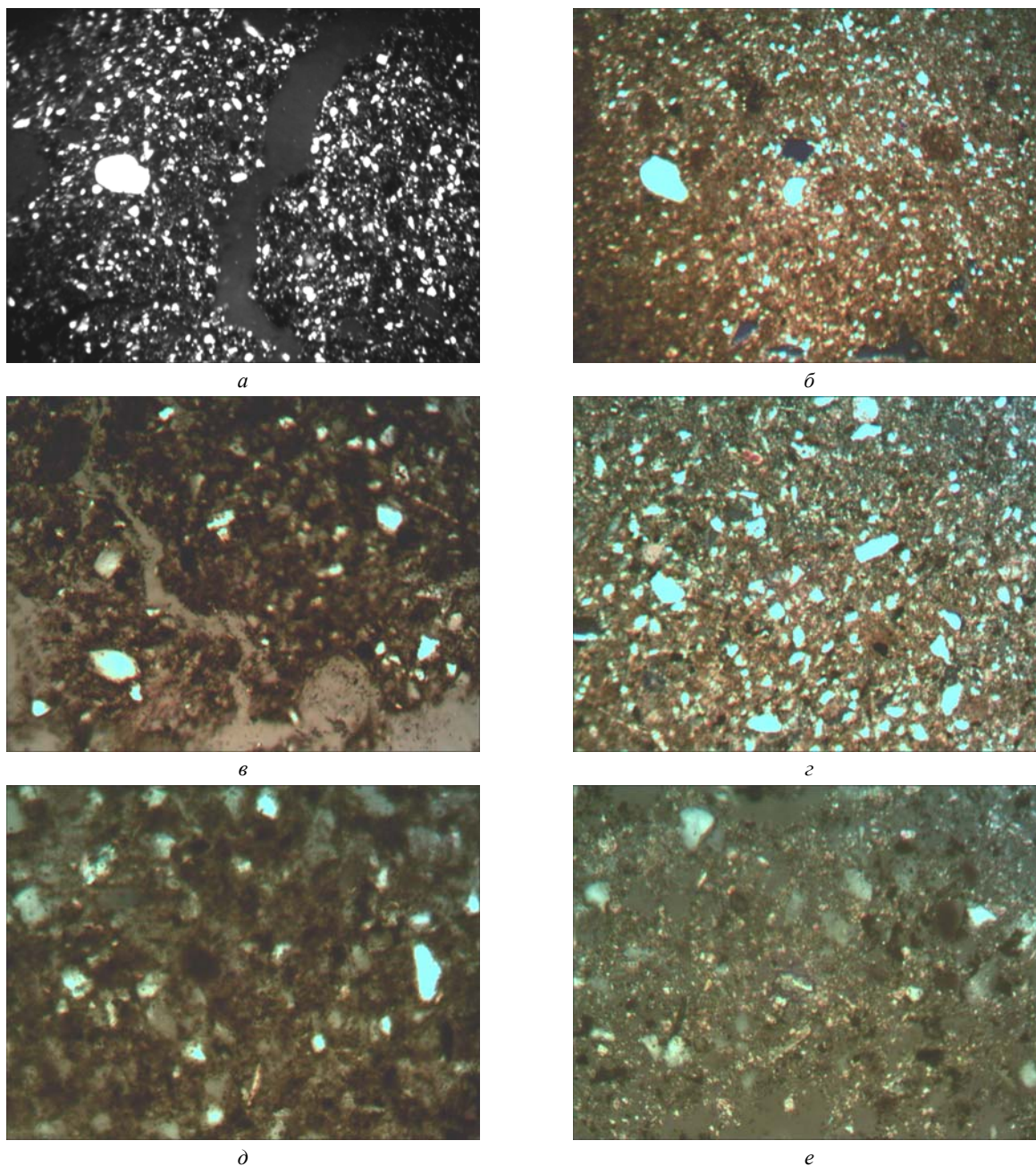


Рис. 2. Фрактальна структура гд/тд відносного розподілу горизонтів Нрк (а, в, д) і Рк (б, з, е) у чорноземі звичайному (*Calcic Chernozem*). Як у верхній, так і в нижній частині профілю рівні подібності мають однакові значення гд/тд порогу виділення, що відображено на фото. Мікробудова першого рівня показана на рис. а, б (збільшення 35, ширина фотографій 2,47 мм, ніколі схрещені), другого – на рис. в, г (збільшення 90, ширина фотографій 1 мм, ніколі напівсхрещені), третього – на рис. д, е (збільшення 200, ширина фотографій 0,46 мм, ніколі напівсхрещені).

Таблиця 2

Характеристика гд/тд відносного розподілу ґрунтів

Генетичний горизонт	Тип гд/тд відносного розподілу	Рівні гд/тд порогу, мм	Грубодисперсні частки, мм	Гд/тд співвідношення, %	Просторовий розподіл грубодисперсних часток
Чорнозем звичайний (Calcic Chernozem)					
Hdk (0–6 см)	Порфірік	0,15	0,15–0,45	1 : 99	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,1	14 : 86	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
Hpk (6–27 см)	Порфірік	0,15	0,15–0,29	Грубих зерен < 1	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,1	14 : 86	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
Phk (27–40 см)	Порфірік	0,15	0,15–0,21	Грубих зерен < 1	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,1	15 : 85	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
Pk (40–120 см)	Порфірік	0,15	0,15–0,3	Грубих зерен < 1	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,09	10 : 90	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
Чорнозем лісовий (Luvic Chernic Phaeozem)					
H ₁ el (0–9 см)	Порфірік	0,15	0,15–0,52	6 : 94	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,09	3 : 97	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H ₂ el (9–46 см)	Порфірік	0,15	0,15–0,59	3 : 97	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,09	7 : 93	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H ₃ el (46–88 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,78	2 : 98	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	8 : 92	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H ₄ il (88–138 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,53	3 : 97	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	8 : 92	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H _р il (138–160 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,51	2 : 98	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	8 : 92	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
Philk (160–187 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,45	2 : 98	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	8 : 92	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
Pilk (187–230 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,4	3 : 97	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	7 : 93	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
P ₁ k (230–250 см)	–	0,1	0,1–0,45	2 : 98	–
		0,02	0,02–0,03	8 : 92	–
		0,003	0,003–0,005	–	–
P ₂ k (250–300 см)	–	0,1	0,1–0,6	1 : 99	–
		0,02	0,02–0,03	8 : 92	–
		0,003	0,003–0,005	–	–
P ₃ k (300–350 см)	–	0,1	0,1–0,45	1 : 99	–
		0,02	0,02–0,03	10 : 90	–
		0,003	0,003–0,005	–	–
Лучно-чорноземний ґрунт (Luvic Gleyic Chernic Phaeozem)					
H ₁ el (0–8 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,45	1 : 99	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	10 : 90	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H ₂ el (8–34 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,45	5 : 95	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	5 : 95	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H ₃ el (34–60 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,57	5 : 95	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	5 : 95	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H ₄ il (60–118 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,7	7 : 93	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	6 : 94	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний
H _р il (118–132 см)	Порфірік	0,1	0,1–0,38	2 : 98	Нерівномірний
		0,02	0,02–0,06	8 : 92	Рівномірний
		0,005	0,005–0,01	–	Рівномірний

* Площа гд/тд співвідношення на третьому рівні відносного розподілу не визначалась.

** Тип гд/тд відносного розподілу та просторовий розподіл грубодисперсних часток у порушених зразках, відібраних буром, не визначався.

Чорнозем лісовий (*Luvic Chernic Phaeozem*)

Тип гд/тд відносного розподілу – порфірік. Ґрунти на схилі байраку також характеризуються тривірневою фрактальною структурою відносного розподілу часток (рис. 3).

Поріг виділення першого рівня становить 0,15 мм по всьому профілю. Верхня межа розмірності грубодисперсної фракції варіює за горизонтами від 0,4 до 0,78 мм. Вміст грубодисперсних часток коливається від 2 до 6 % у ґрунтових горизонтах та 1–2 % у підґрунтових горизонтах P_{1k} , P_{2k} і P_{3k} . Просторовий розподіл зерен грубої фракції нерівномірний, неупорядкований.

Поріг виділення другого рівня становить 0,02 мм по всьому профілю. У поверхневих горизонтах H_{1el} та H_{2el} основу грубодисперсної фракції складають зерна розміром 0,02–0,09 мм. У наступних горизонтах включно з горизонтом P_{1k} – 0,02–0,06 мм. Розмір грубодисперсної

фракції в підґрунтових горизонтах 0,02–0,03 мм. Вміст часток найменший у поверхневому горизонті – 3 %, найбільший у горизонті P_{3k} – 10 %. Профіль у цілому характеризується вмістом грубої фракції на рівні 7–8 %. Просторовий розподіл зерен рівномірний.

Поріг виділення третього рівня становить 0,005 мм для ґрунтових горизонтів, включно з горизонтом P_{1k} , та 0,003 мм для підґрунтових горизонтів. Грубодисперсну фракцію складають частки розміром 0,005–0,01 мм у профілі ґрунту разом з горизонтом P_{1k} та 0,003–0,005 мм у підґрунтових горизонтах P_{1k} , P_{2k} і P_{3k} . Просторовий розподіл часток грубої фракції рівномірний.

Отримані результати свідчать про літологічну однорідність у межах генетичного профілю ґрунтів і зміну характеристик у підґрунтових горизонтах P_{1k} , P_{2k} і P_{3k} за показниками другого та третього рівнів подібності гд/тд відносного розподілу.

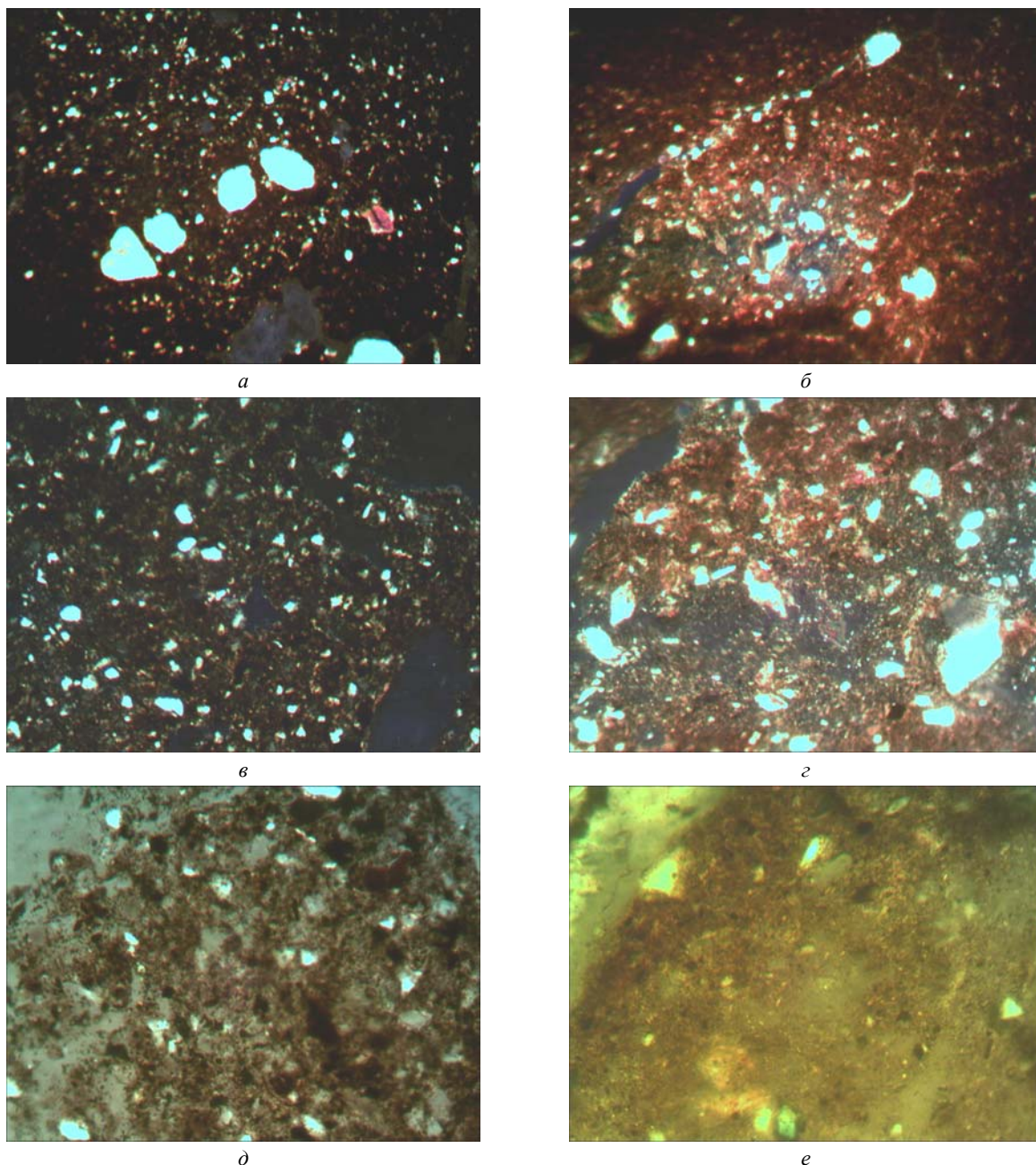


Рис. 3. Фрактальна структура гд/тд відносного розподілу горизонтів H_{2el} (а, в, д) і P_{1k} (б, з, е) в чорноземі лісовому (*Luvic Chernic Phaeozem*). Підґрунтові горизонти порівняно з ґрунтовым профілем мають відмінні показники на другому і третьому рівнях подібності відносного розподілу. Картину мікробудови на першому рівні ілюструє рис. а, б (збільшення 35, ширина фотографій 2,47 мм, ніколи схрещені), другому – рис. в, з (збільшення 90, ширина фотографій 1 мм, ніколи напівсхрещені), третьому – рис. д, е (збільшення 200, ширина фотографій 0,46 мм, ніколи напівсхрещені).

Лучно-чорноземний ґрунт
(Luvic Gleyic Chernic Phaeozem)

Тип гд/тд відносного розподілу подібно до попередніх ґрунтів – порфірік. У мікробудові лучно-чорноземних ґрунтів виділяються три рівні подібності відносного розподілу часток (рис. 4), подібно до чорноземів звичайних і чорноземів лісових.

Поріг виділення першого рівня гд/тд відносного розподілу становить 0,1 мм по всьому профілю. Верхня межа грубодисперсної фракції по профілю коливається від 0,38 до 0,7 мм. Вміст грубодисперсних зерен коливається від 1 до 7 %. Просторовий розподіл зерен нерівномірний, неупорядкований.

Поріг виділення другого рівня по всьому дослідженому профілю становить 0,02 мм. Основна частина грубих зерен на даному рівні відноситься до фракції 0,02–0,06 мм по всьому профілю. Вміст зерен коливається від 5 до 10 % у різних горизонтах. Просторовий розподіл зерен рівномірний.

Поріг виділення третього рівня дорівнює 0,005 мм по всьому профілю. Складається грубодисперсна частина з часток переважно розміром 0,005–0,01 мм. Просторовий розподіл грубодисперсної частини в ґрунтовому матеріалі рівномірний.

Визначені параметри фрактальної структури свідчать про літологічну однорідність дослідженої частини профілю ґрунтів тальвегу, сформованих на надпотужних делювіальних гумусованих суглинках.

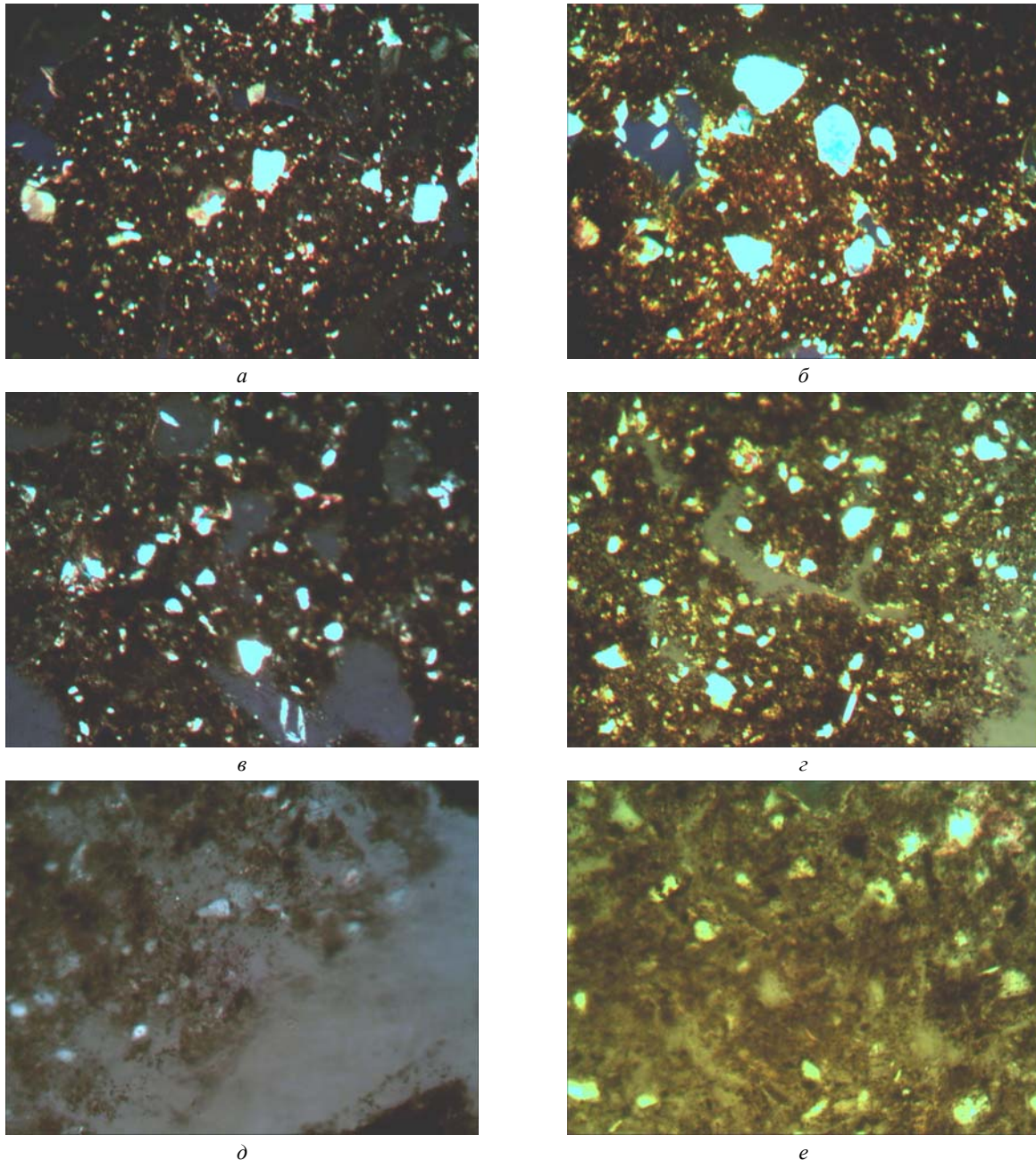


Рис. 4. Фрактальна структура гд/тд відносного розподілу горизонтів H₂el (а, в, д) і H_{pi}1 (б, з, е) в лучно-чорноземному ґрунті (Luvic Gleyic Chernic Phaeozem). Параметри виділення і мікробудова рівнів подібності є незмінними на всю потужність дослідженої частини профілю. Перший рівень – рис. а, б (збільшення 35, ширина фотографій 2,47 мм, ніколі схрещені), другий – рис. в, з (збільшення 90, ширина фотографій 1 мм, ніколі напівсхрещені), третій – рис. д, е (збільшення 200, ширина фотографій 0,46 мм, ніколі напівсхрещені).

Висновки

При мікроморфологічному дослідженні ґрунтів, сформованих на материнських породах суглинкового та глинистого гранулометричного складу, виявляється фрактальна структура відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних часток, що сполучає в собі кількісну та якісну характеристику твердої фази і не розпізнається гранулометричним аналізом.

Дослідження фрактальних властивостей гд/тд відносного розподілу дає можливість діагностувати літологічну неоднорідність генетичного профілю ґрунтів та проводити поетапне встановлення контрастності такої неоднорідності.

Досліджені лісові ґрунти Присамар'я характеризуються тривірневою фрактальною структурою організації відносного розподілу гранулометричних елементів мікробудови. На кожному з рівнів відносного розподілу картина мікробудови подібна до рівнів, виділених в інших масштабах.

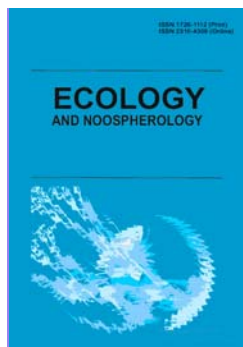
Ґрунтові горизонти генетичних профілів чорнозему звичайного, чорнозему лісового та лучно-чорноземного ґрунту мають подібні фрактальні властивості і морфометричні характеристики гд/тд відносного розподілу. Літологічна подібність мікроморфологічної організації, імовірно, зумовлена генетичними зв'язками ґрунтів дослідженої катени внаслідок делювіальних процесів.

Чорноземи звичайні поруч з узліссям характеризуються літологічною однорідністю профілю і підґрунтових горизонтів лесової материнської породи. Натомість чорноземи лісові на схилі байраку літологічно неоднорідні. Виявлено, що підґрунтові горизонти за межами генетичного профілю ґрунту відрізняються за морфометричними показниками на другому та третьому рівнях відносного розподілу грубо- та тонкодисперсних часток.

References

Bozhokin, S. V., Parshin, D. A., 2001. *Fraktaly i multifraktaly* [Fractals and multifractals]. Regular and chaotic dynamics. Izhevsk (in Russian).
Dobrovolsky, G. V., 1983. *Metodicheskoe rukovodstvo po mikromorfologii pochv* [Methodological guide to soil micromorphology]. MSU, Moscow (in Russian).

Feder, E., 1991. *Fraktaly* [Fractals]. Mir, Moscow (in Russian).
Gagarina, E. I., 2004. *Mikromorfologicheskij metod issledovaniia pochv* [Micromorphological method for studying soil]. St. Petersburg University Press, St. Petersburg (in Russian).
Gerasimova, M. I., Gubin S. V., Shoba S. A., 1992. *Mikromorfologiya pochv prirodnih zon SSSR* [Micromorphological features of the USSR zonal soils]. Pushchino Research Center of the Russian Academy of Sciences, Pushchino (in Russian).
Guidelines for soil description. 4th edition (2006) FAO, Rome.
IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome
Mandelbrot, B. B., 1982. *The fractal geometry of nature*. Freeman, New York
Morozov, A. D., 2002. *Vvedenie v teoriiy fraktalov* [Introduction to the theory of fractals]. Institute of Computer Science, Izhevsk (in Russian)
Parfyonova, E. I., Yarilova, E. A., 1977. *Rukovodstvo k mikromorfologicheskimi issledovaniyam v pochvovedenii* [A guide to the micromorphological studies in soil science]. Nauka, Moscow (in Russian).
Rozanov, B. G., 2004. *Morfologiya pochv* [Morphology of soils]. Academic Project, Moscow (in Russian).
Stoops, G., 2003. *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. Madison, WI, Soil Science Society of America.
Travleev, L. P., 1977. *Osobennosti lokalnogo uvlazhneniia edafotopov v bairachnykh lesakh i ikh geologo-gidrologicheskaiia kharakteristika* [Features local humidification edaphotopes gully in the woods and their geological and hydrological characteristics]. Questions steppe forest science and environment, 7, 31–39 (in Russian).
Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A., 1986. *Metody issledovaniia fizicheskikh svoystv pochvy* [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow (in Russian).
Yakovenko, V. M., 2014. *Vplyv delyuvialnykh protsesiv na macro- ta mikromorfologiyu bairachnykh lisovykh gruntiv* [The influence of deluvial processes on macro- and micromorphology of ravined forest soil]. Gruntoznavstvo, 15(3-4), 74–88 (in Ukrainian).
Yakovenko V. M., Bilova N. A. 2015. *Morfologia lisovogo bairachnogo gruntoutvorenni na delyuvialnykh syglunkakh* [Morphology of forest ravined soil formation on deluvial loams]. Gruntoznavstvo, 16(3-4), 3–17 (in Ukrainian).



Bioecological analysis of *Picea pungens* needles in the deterioral conditions of the DTEK Prydniprovsk thermal power plant

T. I. Yusypiva

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 10.10.2018
Received in revised form
19.10.2018
Accepted 25.10.2018

Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-096-836-03-37
E-mail: JusyypivaTatjana@i.ua

Yusypiva, T. I. (2018). Bioecological analysis of *Picea pungens* needles in the deterioral conditions of the DTEK Prydniprovsk thermal power plant. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 119–124. doi:10.15421/031819

Crucial for the research on adaptiogenesis of introduced coniferous species is the study the anatomical structure of their vegetative organs, especially the needles, which provides the productivity of individual trees and plantings in general. In conditions of anthropogenic pressure of the environment there are changes in the thickness and structure of the histological elements of vegetative organs of coniferous species, in the first place, protective tissues. Therefore, the study of the anatomical structure of the needles is relevant in the context of studying the ways and mechanisms of adaptation of gymnosperms to industrial emissions and the finding sensitive phytoindicators of environmental pollution and the condition of coniferous plants in man-made zones. However, today the chronic effect of phytotoxicants on the anatomical structure of needles is insufficiently studied. Ecological and anatomical studies of *P. pungens* in the conditions of the steppe zone of Ukraine for the effects of technogenesis are practically absent. Prydniprovsk TPP is the largest source of pollution in the city of Dnipro (Ukraine): its emissions make up 68,9 % of the volume of toxic compounds of all enterprises and transport facilities. The main pollutants of emissions from Prydniprovsk TPP are SO₂, NO₂, solids, CO. In order to reduce the negative impact of the TPP emissions, green plantations mainly from softwood are created around it, which purify the atmosphere and improve the environment throughout the year. In view of this, the purpose of the work is to analyse the state of morphological and anatomical indices of the *Picea pungens* Engelm f. *glauca* Beissn. needles under the influence of emissions from Prydniprovsk TPP. The research is conducted according to generally accepted methods (Zlobin et al., 2009; Albrechtova, 2003; Permjakov, 1988). It has been found that the length and weight of needles in experimental specimens of *P. pungens* decrease with respect to the values of these indices in plants of relatively pure zone; therefore, they are sensitive growth parameters to the action of environmental pollution. Nevertheless, the intensity of the growth of *P. pungens* needles does not change; therefore, it is not an informative feature for assessing the living conditions of the prickly fir in the industrial zone. The analysis of the micromorphological features of *P. pungens* needles showed resistance to anthropogenic pressure of its characteristics, such as width and thickness, although the area of needles decreases, which is associated with a significant decrease in the technogenic conditions of the environment of its length. In plants of *P. pungens*, growing on the territory adjacent to Prydniprovsk TPP, the size of the constituents of needles of *P. pungens* (epidermis and hypoderms), as well as the number, diameter and type of placement of resin passages in the mesophyll of the needles do not differ significantly from such indices in plants of relatively pure zone indicating the stability of these features and the resistance of the needles of the investigated species to the emissions of TPP. The thickness of the assimilation parenchyma from the adaxial side of the needle of *P. pungens* in the conditions of technogenesis increases. Among the histological elements of the needles *P. pungens* the greatest influence of man-made emissions is experienced by the components of the central conductive cylinder: the layer of endoderm thickens by 15,9 %, as compared with the control value, which we consider as an adaptive reaction of plants to man-made stress; the diameter of the central conductive cylinder and the thickness of xylem increases. Probably this is due to the need for better water supply of plants. Thus, in the conditions of technogenesis, stability of the histological characteristics and plasticity of the morphometric characteristics of the needles *P. pungens* were revealed. The formation of adaptive mechanisms of compensatory type in the needles of *P. pungens* under the influence of phytotoxicants was found: there is an increase of the size of the endoderm,

mesophyll, xylem and the central conductive cylinder of the needles. It is shown that the ratio of particles of histological structures of needles (in %) to the action of pollutants of TPP remains practically unchanged. The informative test parameters for monitoring studies of the condition of coniferous plants in man-made zones (mass, length and area of needles) are suggested. Estimation of *P. pungens* resistance to the components of the thermal power plant's emissions as a medium-resistant species. It is recommended to use *P. pungens* in landscaping of contaminated areas.

Keywords: *Picea pungens* Engelm.; morphometric indices; micromorphological characteristics; anatomical parameters; needles; technogenic contamination

Біоекологічний аналіз стану хвої *Picea pungens* в умовах викидів ДТЕК «Придніпровська ТЕС»

Т. І. Юсипіва

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Проаналізовано вплив забруднення середовища викидами ДТЕК «Придніпровська ТЕС» (м. Дніпро) на морфо-анатомічні показники листка *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* Beissn. Виявлено стабільність гістологічних і пластичність морфометричних ознак хвої *P. pungens* в умовах техногенезу. Встановлено формування адаптивних механізмів компенсаторного типу в хвойнках *P. pungens* під впливом фітотоксикантів: збільшення розмірів ендодерми, мезофілу, ксилеми та центрального провідного циліндра хвоїнки. Запропоновано інформативні тест-параметри для моніторингових досліджень стану хвойних рослин у техногенних зонах (маса, довжина, площа хвоїнки). Рекомендовано використовувати *P. pungens* в озелененні територій, забруднених SO_2 , NO_2 , твердими домішками та CO .

Ключові слова: *Picea pungens* Engelm.; морфометричні показники; мікоморфологічні характеристики; анатомічні параметри; хвоя; техногенне забруднення

Вступ

Дніпро – потужний промисловий центр України (The City of Dnipropetrovsk, 2015), в якому працюють понад 200 підприємств. Щорічно вони забруднюють атмосферне повітря, водні басейни та ґрунт мільйонами тон токсичних речовин, що порушує нормальне функціонування як природних, так і штучних лісових екосистем. ДТЕК «Придніпровська ТЕС» – найбільше джерело забруднення: її емісії становлять 68,9 % від обсягу забруднювальних сполук усіх підприємств і транспортних об'єктів м. Дніпра (Ecological passport of the Dnipro Sity, 2016). Для зменшення негативного впливу викидів ТЕС навколо неї створені зелені насадження переважно із хвойних порід, які очищують атмосферне повітря й оздоровлюють навколишнє середовище протягом усього року.

Техногенне забруднення довкілля змінює функціонування рослинних організмів на всіх рівнях їх організації, у тому числі клітинному, тканинному, органному (Bessonova, 2006; Griztay & Shupranova, 2015; Iusypiva & Miasoid, 2017). За дії стресових умов зростання серед реакцій-відповідей рослин на вплив токсичних речовин наявні зміни в розмірах річних приростів пагонів та асиміляційних органів, процесах формування листового апарату, у закладанні й розвитку репродуктивних структур, у процесах проростання насіння та формування сходів, самосіву та підросту головних і супутніх лісоутворювальних деревних порід (Bessonova & Usypiva, 2001; Stasova et al., 2009; Grytsay & Miasoid, 2016).

Важливу роль у вивченні адаптогенезу хвойних інтродуцентів мають дослідження анатомічної структури їх вегетативних органів, особливо хвої, яка забезпечує продуктивність окремих дерев і насадження в цілому (Bessonova & Iusypiva, 2018). В умовах антропогенного тиску довкілля спостерігаються зміни у товщині й будові гістологічних елементів вегетативних органів хвойних порід (Antonova & Stasova, 2002; Dmuchowski et al., 1998), і в першу чергу покривних і захисних тканин (Fedorkov, 2011; Legoshchina et al., 2013). Тому дослідження анатомічної структури хвої актуальні у контексті вивчення шляхів і механізмів адаптації голонасінних до

промислових емісій і виявлення чутливих показників для фітоіндикації забруднення довкілля та стану хвойних рослин у техногенних зонах.

Однак на сьогодні хронічний вплив емісій ТЕС на гістологічну будову хвої вивчений недостатньо. Еколого-анатомічні дослідження *P. pungens* в умовах степової зони України за дії техногенезу відсутні. Зважаючи на це, мета роботи – проаналізувати стан морфологічних і анатомічних показників хвої *Picea pungens* Engelm за дії викидів ДТЕК «Придніпровська ТЕС».

Матеріали та методи досліджень

Матеріал збирали у травні 2018 р. на двох пробних ділянках. Техногенна зона – територія, яка прилягає до ДТЕК «Придніпровська ТЕС». Частка оксиду сульфуру (IV) в її викидах становить 97,5 % від вмісту цієї сполуки в емісіях усіх підприємств міста, оксиду нітрогену (IV) – 84,7 %, твердих домішок – 64,8 %, оксиду карбону (II) – 8,6 % (Ecological passport., 2015). Контрольна (умовно чиста) зона – Ботанічний сад ДНУ, де концентрації забруднювачів не перевищують ГДК (Pasicznyy & Serdyuk, 2002; Ecological passport., 2016).

Об'єкт дослідження – ялина колюча *Picea pungens* Engelm. f. *glauca* Beissn. (рід Ялина (*Picea* A. Dietr.)). Проби хвоїнок відбирали з минулорічних пагонів подовження скелетних гілок з південно-східного боку 5 модельних дерев на висоті 1,7 м від рівня ґрунту. Виміри морфометричних показників хвоїнок та їх маси здійснювали у 100-кратній повторності за загальноприйнятими методиками (Zlobin et al., 2009). Коефіцієнт інтенсивності росту хвої розраховували за формулою (Suhareva, 2009): $K = M/L$, де K – коефіцієнт інтенсивності росту хвої, мг/мм; M – маса хвоїнки, мг; L – довжина хвоїнки, мм. Ширину й товщину (висоту) хвоїнки визначали на зрізах у центральній її частині під мікроскопом Levenhuk 2L/3L/D2L за збільшення 7×10 . Зрізи робили з використанням ручного мікротома (Permjakov, 1988). Вимірювання розмірів гістологічних елементів хвої здійснювали у 30-кратній повторності за допомогою окуляр-мікрометра за збільшення в 70 разів

після забарвлювання зрізів флороглюцином (Albrechtova, 2003). Площу хвоїнки розраховували за формулою (Sungurova, Khudyakov, 2015): $S = 5,14 L \cdot (a + b/2)/2$, де S – площа хвоїнки, мм²; L – довжина хвоїнки, мм; a – товщина хвоїнки, мм; b – ширина хвоїнки, мм. Периметр хвоїнки визначали за формулою Тирена (Blaschinskaja, 2014): $\Pi = \pi/2 \cdot (1,137b + a)$, де Π – периметр хвоїнки, мм; a – товщина хвоїнки, мм; b – ширина хвоїнки, мм. Результати дослідження обробляли за допомогою Microsoft Office Excel 2007. Розраховували середню арифметичну похибку. Порівнювали морфо-анатомічні показники контрольних і дослідних варіантів за Student's t-test ($p < 0,05$).

Результати та їх обговорення

Життєвий стан фітоценозу взагалі та конкретного дерева зокрема можна оцінити за характером розвитку асиміляційного апарату та його морфо-анатомічними показниками (Bessonova & Ponomaryova, 2017; Suhareva, 2004). Нами виявлено, що довжина та маса хвоїнки є чутливими до дії комплексу забруднювальних речовин SO_2 , NO_x , тверді домішки, CO ростовими параметрами, оскільки у дослідних екземплярів *P. pungens* вони становлять лише 85,7 та 78,9 % відповідно від значень цих показників у рослин умовно чистої зони (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив викидів Придніпровської ТЕС на біометричні показники хвоїнки *Picea pungens* ($n=100$), $M \pm m$

Вид	Контроль	Придніпровська ТЕС	<i>t</i>
Морфометричні показники			
Довжина хвоїнки, мм	28,00 ± 0,92	24,00 ± 0,54***	3,75
Маса хвоїнки, мг	17,28 ± 1,38	13,63 ± 0,23*	2,61
Коефіцієнт інтенсивності росту хвої, мг / мм	0,62 ± 0,06	0,57 ± 0,05	0,64
Мікроморфологічні показники			
Ширина хвоїнки, мм	1,29 ± 0,21	1,37 ± 0,18	0,78
Товщина (висота) хвоїнки, мм	1,07 ± 0,19	1,17 ± 0,16	0,40
Периметр хвоїнки, мм	3,98 ± 0,11	4,28 ± 0,09*	2,11
Площа хвоїнки, мм ²	123,41 ± 1,64	114,42 ± 1,33***	4,26

* Дані достовірні при $p < 0,05$; ** – при $p < 0,01$.

При цьому периметр хвоїнки дещо зростає (на 7,5 % порівняно з контролем), однак її площа зменшується (на 6,3 %), що пов'язано з істотним зниженням у техногенних умовах середовища довжини хвоїнки. Зменшення площі окремої хвоїнки може призвести до скорочення розмірів загальної асиміляційної поверхні пагонів, що, у свою чергу, може негативно позначитися на продуктивності дерев *P. pungens* та їх життєздатності в екстремальних умовах середовища.

На поперечному розрізі хвоїнка *P. pungens* має ромбоєдричну форму і складається з покривних тканин, мезофілу і центрального провідного циліндра. Зовнішнім шаром голки є комплекс покривних тканин: епідерма та гіподерма. Клітини епідерми мають товсті здерев'янілі стінки й вкриті кутикулою з воску. У *P. pungens* продиhi розміщені 3–4 паралельними поздовжніми рядами на гранях адаксіального та абаксіального боків хвоїнки. Продиhi заглиблені в епідерму, що зменшує інтенсивність транспірації. Гіподерма розміщена вглиб від епідерми, складається з одного чи кількох шарів клітин з потовщеними стінками. Покривні тканини – основний бар'єр між зовнішнім середовищем і внутрішніми тканинами хвоїнки, а їх розміри – важлива діагностична ознака стану рослин у забруднених зонах.

Як видно з табл. 2, товщина обох складових покривів хвоїнки *P. pungens* – епідерми та гіподерми – за дії викидів Придніпровської ТЕС практично не змінюється (відмінності між контрольними та дослідними значеннями недостовірні при $p < 0,05$). Аналіз літературних джерел

Аналогічні результати для цього виду отримані за дії інших стрес-факторів середовища. Так, показано (Bessonova & Ponomaryova, 2017) зменшення довжини, площі та маси хвоїнки у рослин *P. pungens*, які зростають вздовж автошляху та на віддаленні 10 м від нього, що автори пояснюють високою інтенсивністю руху автотранспорту й іншими екологічними чинниками, водночас на 120-метровій відстані значення цих характеристик практично не відрізнялись від контрольних.

Сухарева Т. А. (Suhareva, 2004) виявила зміни коефіцієнта інтенсивності росту хвої *Picea obovata* Ledeb. в умовах промислового забруднення і пропонує використовувати його як інформативну ознаку для оцінювання життєвого стану хвойних порід у техногенних зонах. Натомість наші дослідження показали (табл. 1), що за дії емісії Придніпровської ТЕС цей показник у *P. pungens* практично не змінюється (відмінності між контрольним і дослідним значеннями недостовірні при $p < 0,05$), тому не може бути надійним тест-параметром для фітоіндикації стану популяції ялини колючої в техногенних зонах.

Аналіз мікроморфологічних ознак хвої *P. pungens* (табл. 1) виявив стійкість до антропогенного тиску таких її характеристик, як ширина та товщина хвоїнки (відмінності між контрольними та дослідними значеннями недостовірні).

свідчить про те, що під впливом антропогенних факторів докiлля розміри комплексу покривних тканин або окремих його елементів (епідерми, гіподерми чи кутикули) у чутливих видів хвойних зазвичай зменшуються, а у стійких – зростають. Так, в умовах міського середовища виявлено зменшення товщини кутикули й епідерми хвої рослин *Abies sibirica* Ledeb. (Sobchak et al., 2004). Коефіцієнт мінливості для товщини покривних тканин хвої *P. sylvestris* за умов техногенного стресу становив 10,9 % (Fedorkov, 2011). На думку автора, природний добір сприяє виживанню дерев з більш розвиненими покривними тканинами. Виявлено (Legoshchina et al., 2013) зниження в хвої *P. obovata* розмірів кутикули та гіподерми й одночасне зростання товщини епідерми еквівалентно рівню антропогенного навантаження.

Під покривними тканинами розміщена асиміляційна тканина – складчастий мезофіл. Його оболонки утворюють складки всередину клітини, збільшуючи площу поверхні клітинних стінок і поверхневого шару цитоплазми, в якому містяться хлоропласти. Така будова дозволяє в малому об'ємі клітини збільшити інтенсивність фотосинтезу. Мезофіл містить 2 (рідше 1) смоляні ходи, вистелені зсередини живими епітеліальними секреторними клітинами з тонкими оболонками, які продукують смоли. Зовні смоляні ходи оточені шаром лігніфікованих склеренхімних клітин. За розміщенням смоляні ходи *P. pungens* периферійні (крайові), оскільки вони прилягають до гіподерми багатьма клітинами.

Таблиця 2

Вплив викидів Придніпровської ТЕС на товщину покривних тканин і мезофілу хвоїнки *Picea pungens*, мкм

Показник	Контроль	Придніпровська ТЕС	t
Товщина епідерми	20,97 ± 1,78	19,34 ± 2,14	0,59
Товщина гіподерми	29,84 ± 1,72	28,83 ± 3,19	0,002
Товщина мезофілу адаксіального боку, мкм	391,16±9,24	419,38±10,56*	2,01
Товщина мезофілу абаксіального боку, мкм	457,29±12,73	454,87±15,56	0,12
Кількість смоляних ходів, шт.	1,50±0,07	1,70±0,15	0,88
Діаметр смоляного ходу, мкм	83,60±6,89	76,23±2,12	1,02

*Дані достовірні при $p < 0,05$.

Аналіз отриманих даних свідчить про наявність асиметрії в розташуванні мезофілу і ЦПЦ в хвоїнках дослідженого виду як в умовах чистої зони, так і на забрудненій території (табл. 2). Мезофіл *P. pungens* в обох моніторингових точках товщій з абаксіального (нижнього) боку хвоїнки, а його розміри за умов техногенезу практично не змінюються (відмінності між контрольними та дослідними значеннями недостовірні при $p < 0,05$). Товщина асиміляційної паренхіми з адаксіального боку листка в умовах техногенезу збільшується і становить 113,3 % від значення цього показника у рослин умовно чистої зони.

У *P. pungens*, що зростає на прилеглий до Придніпровської ТЕС території, кількість і діаметр смоляних ходів, а також тип розміщення їх у мезофілі хвоїнки практично не відрізняються від таких показників у рослин Ботанічного саду ДНУ, що свідчить про стабільність цих ознак та стійкість хвої дослідженого виду до викидів ТЕС.

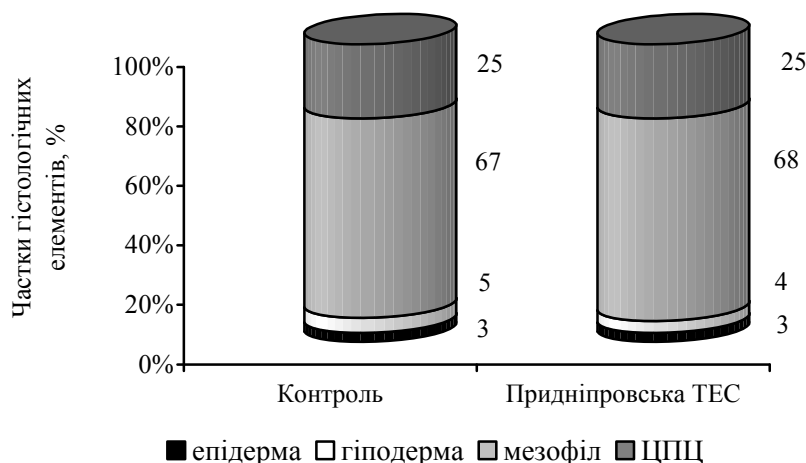
У літературі наявні роботи щодо дії промислових викидів на будову мезофілу різних видів хвойних (Atkina & Vishnyakova, 2007; Sobchak et al., 2004 та ін.). Показано (Report .., 2005), що за екстремальних техногенних умов зростання дерев *P. sylvestris* протягом періоду вегетації відсоткове співвідношення площі хвоїнки до площі поперечного зрізу смоляних ходів не змінюється. За даними (Legoshchina et al., 2013), відбувається зниження площі мезофілу в хвої *P. obovata* по мірі наближення до промислової зони м. Кемерово. У хвоїнках рослин *Picea abies* (L.) Н. Karst, що зростали вздовж автошляху, виявлено (Atkina, Vishnyakova, 2007) асиметрію в розташуванні провідного пучка, що може бути наслідком нестачі пластичних речовин (рослина багато ресурсів витрачає на подолання стресу).

Центральну частину хвоїнки складає центральний провідний циліндр (ЦПЦ), оточений одним рядом клітин

ендодерми із поясками Каспарі на радіальних стінках. Отже, ендодерма слугує «внутрішньою покривною тканиною» ЦПЦ і виконує бар'єрну функцію. ЦПЦ *P. pungens* містить трансфузійну тканину, в якій розташований один провідний пучок. Він складається із ситоподібних елементів флоєми, що забезпечують відтікання фотоасимілятів із хвоїнки до інших органів рослини (низхідна течія), та ксилемних трахеїд, якими із стебла до хвоїнки надходять вода і мінеральні солі (висхідна течія).

Нами виявлено, що серед гістологічних елементів хвої *P. pungens* найбільшого впливу викидів Придніпровської ТЕС зазнають складові ЦПЦ (табл. 3). Слід відзначити потовщення на 15,9 % порівняно з контрольним значенням шару ендодерми, що ми розглядаємо як адаптивну реакцію рослин на техногенний стрес. У ялин забрудненої зони збільшується і діаметр ЦПЦ, що корелює з потовщенням ксилеми. Імовірно, це необхідно для кращого водозабезпечення рослин, оскільки поблизу великих ТЕС температура повітря на 2–3 °C вища (Rodionov, 2010) і для підтримання на належному рівні процесу фотосинтезу рослини мають збільшувати інтенсивність транспірації. У літературі зустрічається низка робіт, які свідчать що в умовах урбосередовища знижується площа ЦПЦ у голках різних хвойних: *A. sibirica* (Sobchak et al., 2004), *P. obovata* (Legoshchina et al., 2013) та *P. sylvestris* (Soboleva et al., 2009).

Наведені в табл. 2–3 дані виражені в мікрометрах. На рис. 1 представлені значення гістологічних показників у відносних величинах, тобто частка кожної тканини у відсотках по відношенню до загальної ширини хвоїнки. Аналіз цих даних свідчить, що суттєві відмінності у співвідношенні анатомічних характеристик листка *P. pungens* за дії викидів Придніпровської ТЕС відсутні. У рослин забрудненої зони незначно змінюються лише частки мезофілу та гіподерми, але ці зміни знаходяться в межах звичайної мінливості.

Рис. 1. Вплив викидів Придніпровської ТЕС на розміри гістологічних елементів хвоїнки *Picea pungens*, %

Таблиця 3

Вплив викидів Придніпровської ТЕС на розміри гістологічних елементів центрального провідного циліндра хвоїнки *Picea pungens*, мкм

Показник	Контроль	Придніпровська ТЕС	t
Товщина ендодерми	14,62 ± 0,75	16,94 ± 0,81*	2,10
Діаметр центрального провідного циліндра	322,60 ± 4,81	354,86 ± 3,40*	6,13
Товщина флоєми	58,88 ± 3,81	55,45 ± 1,83	0,81
Товщина ксилеми	75,81 ± 2,15	85,49 ± 3,23*	2,50

* Дані достовірні при $p < 0,05$.

Висновки

1. Забруднення навколишнього середовища викидами Придніпровської ТЕС призводить до зміни інтенсивності росту асиміляційних органів *P. pungens*, внаслідок чого знижуються маса, довжина та площа хвоїнок. До адаптивних механізмів компенсаторного типу належать збільшення в хвоїнках *P. pungens* під впливом забрудників товщини ендодерми, мезофілу адаксіального боку, ксилеми та діаметра центрального провідного циліндра.

2. Гістологічні характеристики є стабільними ознаками для виду *P. pungens*, а лінійні розміри хвої – пластичними, які змінюються за дії фітотоксикантів.

3. Виявлені чутливі до діоксидів нітрогену та сульфору, оксиду карбону (II) і твердих домішок морфометричні та мікрморфологічні показники (маса, довжина та площа хвоїнки) *P. pungens*, які ми пропонуємо використовувати в моніторингових дослідженнях.

4. *P. pungens* виявила середню стійкість морфолого-гістологічних показників до викидів Придніпровської ТЕС, тому цю деревну породу можна використовувати в озелененні техногенних територій, забруднених комплексом речовин (SO_2 , NO_2 , тверді домішки, CO).

References

Albrechtova, J. (2003). Plant Anatomy in Environmental Studies, Prague.

Antonova, G. F., Stasova, V. V. (2002). Seasonal distribution of processes responsible for radial diameter and wall thickness of larch (*Larix sibirica* Ldb.) tracheids. Improvement of larch (*Larix* sp.) for better growth, stem form and wood quality. Proceedings of an International Symposium. Gap (Hautes-Alpes). France, INRA – Cemagref, 369–377.

Atkina, L. I., Vishnyakova, S. V. (2007). Vliyanie vybrosov avtotransporta na anatomicheskie osobennosti hvoi eli obyknovnoy v usloviyah Ekaterinburga [Influence Surge Motor Transport on Anatomical Particularities of Pine-needles Ateed to Be Common in Condition Ekaterinburg]. Forestry Bulletin, 8, 4–7 (in Russian).

Bessonova, V. P. (2006). Vliyanie tyazhelykh metallov na rasteniya [The Influence of Heavy Metals on Photosynthesis of Plants]. Dnipropetrovsk State Agrarian University, Dnipropetrovsk (in Russian).

Bessonova, V. P., Ponomaryova, O. A. (2017). Morfometrychni pokaznyky ta vmist plastydnykh pihmentiv khvoi *Picea pungens* zalezno vid vidstani do avtoshliakhu [Morphometric characteristics and the content of plastid pigments of the needles of *Picea pungens* depending on the distance from the highways]. Biosystems Diversity, 25(2), 96–101 (in Ukrainian).

Bessonova, V., Iusypiva, T. (2018). Morfoanatomichni pokaznyky khvoi Pinus pallasiana D. Don. u riznykh lisoroslynnykh umovakh protyeroziinoho nasadzhenia [Morpho-anatomical parameters of the needles of *Pinus pallasiana* D. Don. in the antierosion afforestation]. Ukrainian Journal of Ecology, 8 (1), 851–858 (in Ukrainian).

Bessonova, V. P., Usypiva, T. I. (2001). Semennoie vobnovlenie drevesnykh rasteniy i promyshlennyye pollutanty (SO_2 i NO_2) [Seed renewing of arboreal plants and industrial pollutants (SO_2 and NO_2)]. Zaporizhzhya University Press, Zaporizhzhya (in Russian).

Blaschinskaja, O. N. (2014). Baryernyye svoystva drevesnogo rastitelnogo pokrova (sosna obyknovennaya i bereza povislaya) urbanizovannoy territorii (na primere g. Angarska Irkutskoy oblasti) [Barrier properties of woody vegetation cover (common pine and birch dangling) of the urbanized territory (on the example of the city of Angarsk in the Irkutsk region)]. Doc. Diss. Irkutsk (in Russian).

Dmuchowski, W., Kurczynska, E. U., Wloch, W. (1998). Chemical Composition of Needles and Cambial Activity of Stems of Scots Pine Trees Affected by Air Pollutants in Polish Forests. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-166. Available at [http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr166_003_dmuchowski.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr166/psw_gtr166_003_dmuchowski.pdf)

Grytsay, Z., Miasoid, G. (2016). Assessment of Floral Organs State of *Tilia* Genus Representatives under Environment Pollution Conditions caused by Emissions of Prydniprovska Thermal Power Plant, Dnipropetrovsk city. International Letters of Natural Sciences, 55, 52–56 (in Ukrainian).

Griztay, Z. V., Shupranova, L. V. (2015). Vplyv vykydiv Prydniprovskoi TES m. Dnipropetrovsk na anatomichni pokaznyky stebly dvorichnogo pahona predstavnykiv rodu Tilia [Impact of Emissions of Prydniprovsk TPP in Dnipropetrovsk on the Anatomical Indices of Stem of Two-Year Whip of the *Tilia* Genus Representatives]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol, 23(2), 230–235 (in Ukrainian).

Ekolohichniy pasport mista Dnipro (2016 r.) [Ecological passport of the Dnipro Sity (2016 p.)]. Available at <https://dniprorada.gov.ua/upload/editor/Екологічний%20паспорт.PDF>. (in Ukrainian).

Ekolohichniy pasport Dnipropetrovskoi oblasti (2015 r.) [Ecological passport of the Dnipropetrovsk Region] // http://old.menr.gov.ua/docs/protection1/dnipropetrovska/Dnipropetrovska_ekopasport_2015.pdf

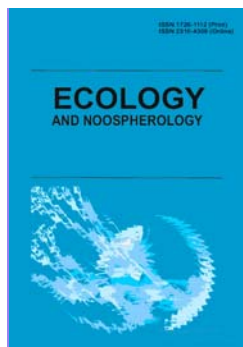
Iusypiva, T., Miasoid, G. (2017). The Impact of Industrial Pollution with Toxic Gases on the Stem Anatomical Characteristics of Woody Plant Undergrowth in the City of Dnipro, Ukraine. International Letters of Natural Sciences, 65, 1–9.

Legoshchina, O. M., Neverova, O. A., Bykov, A. A. (2013). Izmenchivost' anatomicheskoy struktury hvoi v usloviyah vliyaniya vybrosov promzony g. Kemerovo [The variability of the Anatomical Structure of Pine Needles of *Picea obovate* Ledeb. under the Effect of Emissions from the Industrial Zone of Kemerovo]. Contemporary Problems of Ecology, 5, 733–739 (in Russian).

M. Dnipropetrovs'k general'nyy plan rozvytku mista (2015). [The City of Dnipropetrovsk, Amending the general plan of the city development]. Kyiv (in Ukrainian).

Otchet o nauchnoj i nauchno-organizacionnoj deyatel'nosti laboratorii lesovedeniya za 2005 god po teme: «Adaptivnye osobennosti i harakteristika ustojchivosti lesobrazuyushchih vidov Yuzhnogo Urala k ehkstremaal'nym prirodnym i tekhnogennym usloviyam»

- [Report on the scientific and organizational activities of the laboratory of forest studies for 2005 on the topic: «Adaptive features and characteristics of the resistance of forest-forming species of the Southern Urals to extreme natural and man-made conditions»] Available at <https://a/upload/editor/Екологічний%20паспорт.PDF//forestry.chat.ru> otchet-05.htm
- Pasichnyy, H. V., Serdyuk, V. M. (2002). Dynamika vazhkykh metaliv v gruntovomu pokryvi u zv'yazku z tekhnohennym zabrudnennym otchuyuchoho seredovyshcha (na prykladi m. Dnipropetrovs'ka) [Dynamics of Heavy Metals in the Soils is Dealt with the Technogenic Pollution of Environment (for Example of Dnepropetrovsk City)]. Ecology & Natural Resource Management, 4, 111–117 (in Ukrainian).
- Permjakov, A. I. (1988). Mikrotehnika [Microtechnica]. Moscow University Press, Moscow. (in Russian).
- Rodionov, V. G. (2010). Energetika: problemy nastoyashchego i vozmozhnosti budushchego [Energy: problems of the present and the possibilities of the future]. ENAS, Moscow. (in Russian).
- Fedorkov, A. L. (2011). Izmenchivost adaptivnykh priznakov khvoynykh v usloviyakh stressa na severe Evropy. [Variability of adaptive signs of conifers under stress in northern Europe]. Doc. Diss. Moscow (in Russian).
- Sobchak, R. O., Degtyareva, O. N., Astafurova, T. P. (2004). Kompleksnaya ocenka sostoyaniya pihty sibirskoy *Abies sibirica* Ledeb. v usloviyakh gorodskoy sredy. [Comprehensive assessment of the status of Siberian fir *Abies sibirica* Ledeb. in urban environment]. Conifers of the boreal area, XXV(2), 100–109 (in Russian).
- Soboleva, O. M., Kondratenko, E. P., Pinchuk, L. G. (2009). Kompleksnaya ocenka sostoyaniya assimilacionnogo apparata sosny obyknovnoy v g. Novokuzneck [Comprehensive assessment of the state of the assimilation apparatus of Scots pine in Novokuznetsk]. Vestnik AGAU, 33–36 (in Russian).
- Sungurova, N. R., Khudyakov, V. V. (2015). Assimilyatsionnyy apparat v kulturakh sosny [Assimilatory apparatus of pine cultures]. Proceedings of Petrozavodsk State University, 81 (153). 68–74 (in Russian).
- Suhareva, T.A. (2004). Himicheskij sostav i morfometricheskie harakteristiki hvoi eli sibirskoy v usloviyakh vozdushnogo promyshlennogo zagryazneniya [Chemical composition and morphometric characteristics of Siberian spruce needles under conditions of industrial air pollution]. Doc. Diss. Apatity (in Russian).
- Stasove, V. V., Perevoznikova, V. D., Zubareva, O. N., Tatarintsev, A. I. (2009). Vliyanie kompleksa tekhnogennykh i rekreacionnykh nagruzok na razvitie tkanej stvola sosny obyknovnoy v Krasnoyarskoj lesostepi [The Influence of the Complex of Technogenic and Recreational Burden on the Development of the Stem Tissues of Scotch Pine in Krasnoyarsk forest-steppe]. News of RAS. Biological Series, 5, 618–626 (in Russian).
- Zlobin, Yu. A., Sklyar, V. G., Bondareva, L. M., Kyrylchuk, K. S. (2009). Kontseptsiiia morfometrii v suchasni botanitsi [The morphometric concept in modern botany]. Chornomors'k Botanical Journal, 5 (1), 5–22 (in Ukrainian).



Analysis of morphological features connections in representatives of saprophages (case study *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927))

A. P. Pokhylenko, O. O. Didur

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 18.10.2018

Received in revised form
25.10.2018

Accepted 29.10.2018

Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-096-389-78-75
E-mail: vivtash@ukr.net

Pokhylenko, A. P., & Didur, O. O. (2018). Analysis of morphological features connections in representatives of saprophages (case study *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927)). *Ecology and Noospherology*, 29(2), 125–130. doi:10.15421/031820

Among the natural mechanisms that positively influence on the optimization of anthropogenically transformed soils, on sustainability of natural soils, there is saprophages' pertinent activity. Typical representatives of saprophages within such functional group as «ecosystem engineers» are diplopoda. Their trophometabolic (excretory) function is a significant factor in the fertility soil rising. The object of the study – *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927), the representative of *Diplopoda* (*Julidae*). The aim of the paper is studying the interdependence morphological features among *R. kessleri* individuals from different forest ecosystems (natural ash-maple oakery within subwatershed-ravine landscape, natural maple-aspen oakery within terrace flood plain, maple standing forest within subwatershed-ravine landscape) within the steppe zone of Ukraine. Statistical analysis, on the criterion of multiple comparison of averages (test Tukey) for females from three forest types, revealed statistically significant ($P \leq 0,05$) differences in average width and length of it's body, and in the length of the collum. For males from three forest types, significant differences ($P \leq 0,05$) was found in width and length of the antennae, meanwhile for lingular plates' length and width, and for length and width of the gnathochilarium, differences was not established. Analysis of morphological features connections was carried out using multiple regression methods, which allowed to develop mathematical models with high predictive power. It is established that morphological changes of some diplopoda's structural features are correlated with one or several other ones. Multiple regression methods showed standing assemblages of quantitative characteristics that might be predicted by certain morphometric features both for males and females (for example by linear size of its body, or size of gnathochilarium elements). It is shown that antennae's length and width, correlate with body length (for females) and body width (for males) respectively. As for gnathochilarium elements, for females a great number of features were determined as remained in mathematical models after statistical processing. Thus, lingular plates' length and width might be predicted by additive (total) contribution of body's length and width, and gnathochilarium length for females, and for males, respectively, only the by gnathochilarium width and by body's length. The identified features are elements of morphological integration, which makes structural and functional integrity of organisms as a system.

Keywords: ecosystem engineers; ecosystem services; saprophages; millipede (*Rossiulus kessleri*); morphometric characteristics and connections; forest ecosystems

Дослідження залежностей морфологічних ознак у представників сапрофагів (на прикладі *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927))

А. П. Похиленко, О. О. Дідур

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Одним із природних механізмів, який позитивно впливає на оптимізацію антропогенно порушених ґрунтів, підтримання і поліпшення властивостей природних ґрунтів, є пертинентна активність сапрофагів, зокрема таких типових представників функціональної групи «екосистемних інженерів», як двопарноногі багатоніжки. Їх трофометаболічна (екскреторна) функція – істотний чинник родючості ґрунту. Об'єкт дослідження – представники *Diplopoda* (*Julidae*)

Rossiulus kessleri (Lohmander, 1927) – сірого ківсяка. Мета – вивчити взаємозалежності морфологічних ознак у представників *R. kessleri* із різних лісових екосистем в умовах степової зони України. Статистичний аналіз, здійснений за критерієм множинного порівняння середніх (тест Тьюкі), виявив для самиць сірого ківсяка, відібраних у трьох типах лісу (ясенево-пакленова байрачна діброва, кленово-ясенева заплавна діброва, штучне кленове насадження на водорозділі), існування статистично достовірних ($P \leq 0,05$) розбіжностей за середньою шириною та довжиною тіла, а також довжиною коллума, для самців – за шириною та довжиною вусика. Для середньої довжини та ширини язичкових пластин, довжини та ширини гнатохілярія розбіжностей для самців з різних типів лісу не встановлено. Розгляд зв'язку і взаємодії між кількома морфометричними характеристиками здійснювали з використанням методів множинної регресії, які дозволили побудувати математичні моделі з високою прогнозною здатністю. Установлено, що морфологічні зміни одних структурних ознак особин сірого ківсяка корелюють з одним або декількома іншими ознаками. Методами множинної регресії виявлені стійкі сукупності кількісних ознак, які можна прогнозувати для самиць і самців ківсяка сірого за певними морфометричними характеристиками – загальними розмірами його тіла, розмірами органів почуття, розмірами елементів гнатохілярія. Установлено, що довжина та ширина вусиків ківсяка сірого відповідно корелюють з довжиною (для самиць) та шириною (для самців) тіла. Стосовно елементів гнатохілярія, то для самиць визначено більший спектр ознак, які після статистичного опрацювання залишились у складі математичних моделей. Так, довжину та ширину язичкових пластин можна прогнозувати за аддитивним (сумарним) вкладом довжини та ширини тіла, довжини гнатохілярія для самиць, для самців – відповідно за вкладом тільки ширини гнатохілярія та довжини тіла. Визначені особливості є елементами морфологічної інтеграції, від якої залежить структурна та функціональна цілісність організмів як системи.

Ключові слова: екосистемні інженери; екосистемні послуги; сапрофаги; ківсяк (*Rossiulus kessleri*); морфометричні характеристики та залежності; лісові екосистеми

Вступ

У зв'язку з антропогенним впливом людини на природні угруповання питання збереження біорізноманіття, запобігання десертифікації, деградації ґрунтів набрали чинності в останні роки (Klyumenko et al., 2017). Для такого індустріалізованого регіону України, як Степове Придніпров'я, зазначені явища особливо характерні. Тому постає питання ґрунтової плодючості й зростає значущість ґрунтових безхребетних середовищеперетворювачів в оптимізації оточуючого середовища (Jones et al., 1994, 1997; Tiunov, 2007; Eisenhauer, 2010; Bulakhov and Pakhomov, 2011; Kul'bachko et al., 2015). Типовими представниками «екосистемних інженерів» є ґрунтово-підстилкові сапрофаги, і такі екосистемні функції, як стабілізація клімату, очищення повітря, формування плодючих ґрунтів, їх захист від ерозії, залежать від біологічного різноманіття підстилкових безхребетних (Kadem et al., 2004). Формуючи піонерні співтовариства, їх представники першими серед ґрунтових безхребетних починають біологічне освоєння субстратів природного та антропогенного походження, впливаючи на хід первинних етапів (Tarashchuk and Bezkravna, 2000), вступаючи у складні взаємодії з ґрунтовою мікрофлорою (Stebaeu, 1984; Byzov, 2005), формують структуру ґрунту, запобігають незворотній втраті гумусу та повній деградації ґрунту. Вони беруть безпосередню участь не тільки в механічному руйнуванні відмерлої органічної речовини рослинного походження, її змішуванні з мінеральною частиною ґрунту (Striganova, 1980), прискорюючи таким чином поступ елементів до ґрунту, а й у вторинному перерозподілі хімічних елементів у лісових екосистемах (Krivoluckij, 1982), крім цього в її подальшій біохімічній трансформації – гуміфікації, яка є основою ґрунотвірного процесу (Striganova, 1980, 2000). Ця функція ґрунтових сапрофагів не дублюється ніякими іншими групами живих організмів і важлива з точки зору збереження і підвищення родючості ґрунтів (Kurcheva, 1960; Gulyarov, 1970; Pylypenko et al., 1973; Chernova, 1977; Griffiths, 2001). Відомості про ґрунтових безхребетних використовували для діагностики та характеристики ґрунтів (Solov'ev and Brygadyrenko, 2003). Щоб застосовувати зоологічну характеристику як критерій визначення типу ґрунотвірного процесу, важливо проводити облік тих груп тварин, від яких безпосередньо залежить хід цього процесу (Pylypenko and Smirnov, 1989).

Об'єкт дослідження – представники *Diplopoda* (Julidae) *Rossiulus kessleri* (Lohm.) – сірого ківсяка. Це еврибіонт, звичайний для лісів, південних дібров, лісополос помірних широт. Бере активну участь у деградації опалого

рослинного матеріалу та, як результат, забезпеченні ґрунту родючістю. Вид екологічно пластичний, світлолюбний.

Мета – вивчити взаємозалежності морфологічних ознак у представників *Rossiulus kessleri* (Lohmander, 1927) із різних лісових екосистем в умовах степової зони України.

Матеріали та методи досліджень

Полігон дослідження охоплює в адміністративному відношенні Новомосковський, Павлоградський і Юр'ївський райони Дніпропетровської області (рис. 1). Згідно з фізико-географічним районуванням три вказані райони відповідають степовій зоні, північно-степовій підзоні, Лівобережно-Дніпровській північно-степовій провінції. Кліматичні умови цієї території, порівняно з фізико-географічними областями Правобережно-Дніпровської північно-степової провінції, відрізняються помітним збільшенням континентальності. Вона відрізняється значним розвитком долинних-заплавних, надзаплавних терасових піщано-борових і надзаплавних терасових лесово-степових типів місцевості.

Представників *Diplopoda* відбирали навесні 2018 року в трьох лісових насадженнях: у природній ясенево-пакленовій діброві (розташована у межах приводороздільно-балкового ландшафту); природній кленово-ясеневій діброві (розташована у межах долинно-терасового ландшафту); штучному кленовому лісовому насадженні (у межах приводороздільно-балкового ландшафту).

Байрачна ясенево-пакленова діброва на водорозділі (Новомосковський район). Основні деревні породи – дуб звичайний, ясен звичайний, клен польовий. Ґрунт – Calcic chernozem (за класифікацією WRB). Лісова підстилка потужністю 3 см, складається з напіврозкладеного листя.

Короткозаплавна кленово-ясенева діброва (Павлоградський район). Основу деревостану складають клен польовий, ясен звичайний. Ґрунт – Phaeozem (за класифікацією WRB). Потужність лісової підстилки 1 см, цільна, щільна.

Штучне кленове насадження на водорозділі (Юр'ївський район). Основні деревні породи – клен гостролистий, клен польовий, клен татарський. Ґрунт – Calcic chernozem (за класифікацією WRB). Лісова підстилка фрагментована, малопотужна (до 1,5 см).

Відомо, що цілісність організму забезпечується структурною та функціональною інтеграцією всіх його частин. З метою вивчення взаємозалежностей морфологічних показників ківсяка сірого обрано 14 характеристик (за Prishutova, 2001), які відображають: 1) загальні розміри тіла: довжина (L) та ширина (I) тіла,

кількість сегментів (S), довжина тельсона (T), довжина коллума (C), довжина задньої кінцівки (F); 2) *розміри органів дотику*: особливості головної капсули – довжина (A) та ширина вусика (a); 3) *розміри елементів гнатохілярія* – частини ротового апарату: довжина (G) та ширина (g) гнатохілярія, довжина (E) та ширина (e) язичкових пластин, довжина (U) та ширина (u) проментума. Гнатохілярій являє собою складну нижню губу (елемент злиття другої пари максил), функція якої – підтримування харчових шматочків.

Розгляд зв'язку і взаємодії між кількома морфометричними характеристиками здійснювали з використанням методів множинної регресії, які дозволили побудову математичної моделі з високою прогновною здатністю. Найбільш простою формою зв'язку в таких ситуаціях є лінійна. Випадком лінійної множинної кореляції може бути модель, в якій одна зі змінних являє собою функцію (залежна змінна), а інші виступають як аргумент (незалежні змінні). Для мінімізації кількості незалежних змінних, що входять до запропонованої моделі, можна скористатися покроковою множинною

регресією. Така процедура покрокового відбору є одним з критеріїв вибору «найкращої» моделі, а також інструментом для відсіву незначущих ознак (характеристик). В основу вибору тієї або іншої моделі покладено одержання працездатної моделі (в її простій формі) з найменшим числом коефіцієнтів і високим ступенем апроксимації даних. Якщо всі змінні в моделі виражені в порівнянних (безрозмірних) одиницях (стандартизованому виді), то їх коефіцієнти показують «вплив» обраних незалежних змінних на залежну змінну.

Для порівняння середніх значень морфологічних ознак самиць і самців ківсяка застосовували критерій достовірно значущої різниці групових середніх Тьюкі (Honestly Significant Difference test, або Tukey's HSD test) (McDonald, 2014). Цей критерій дозволяє коректно здійснювати множинні парні порівняння середніх. Різниця середніх визнана статистично значущою за довірчою ймовірністю $P \geq 95\%$. Розрахунок апостеріорного множинного парного критерію Тьюкі та побудова рівнянь регресії здійснено у комп'ютерному пакеті прикладних статистичних програм Statgraphics Centurion XV Version 15.1.02.

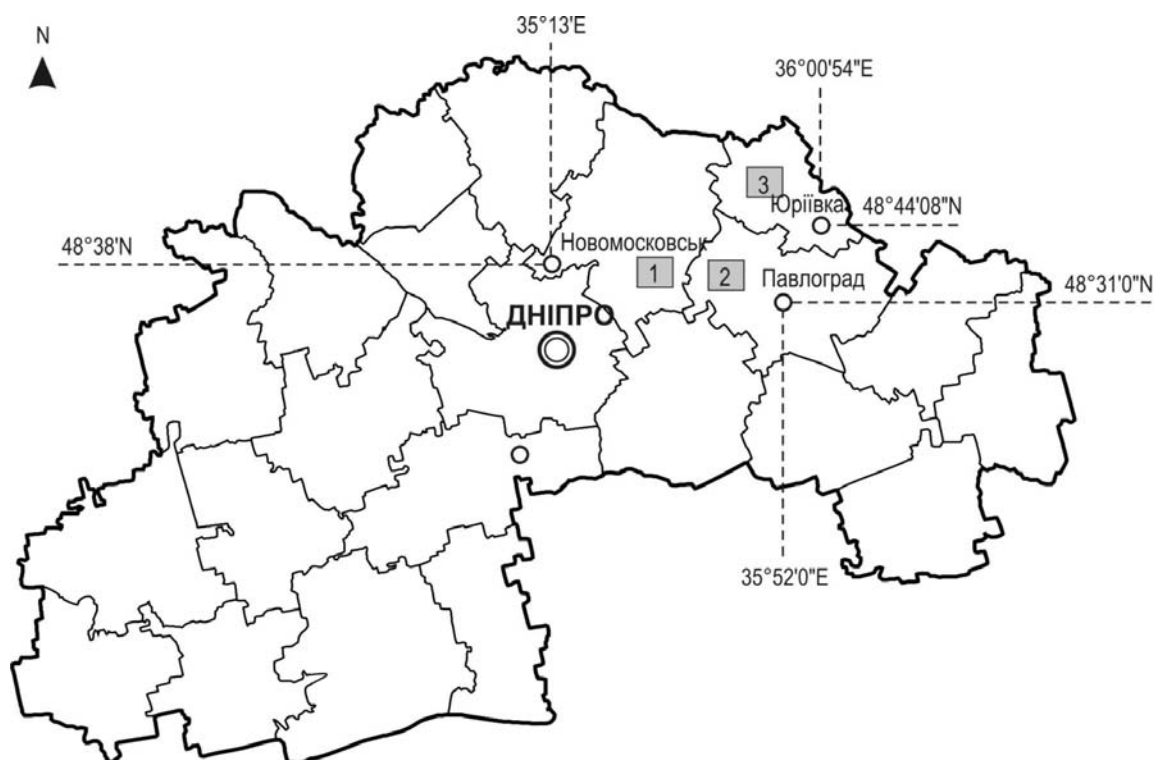


Рис. 1. Карта району досліджень: 1 – ясенєво-пакленова байрачна діброва (Новомосковський район); 2 – кленово-ясенева заплавна діброва (Павлоградський район); 3 – штучне кленове насадження на водорозділі (Юрївський район)

Результати та їх обговорення

За результатами дослідження самиць сірого ківсяка, відібраних у трьох типах лісу, були визначені статистично достовірні розбіжності за шириною (I) та довжиною тіла (L), а також довжиною коллума (C) (табл. 1). Особини з штучного кленового насадження на водорозділі (Юрївський район) статистично достовірно відрізняються більшою середньою довжиною тіла порівняно з самицями з інших типів лісу. Тільки для такого морфологічного показника, як довжина проментума (U), встановлено відсутність статистичної розбіжності середніх для самок ківсяка з досліджених біотопів.

Для самців ківсяка, відібраних у трьох типах лісу, статистична достовірна розбіжність середніх визначена за шириною (a) та довжиною (A) вусика (табл. 2). Відмітимо, що серед характеристик елементів гнатохілярія (довжина та ширина гнатохілярія, довжина та ширина язичкових пластин, довжина та ширина проментума) для самців з різних досліджених

лісових екосистем статистично достовірної розбіжності середніх довжини (E) та ширини (e) язичкових пластин, довжини (G) та ширини (g) гнатохілярія не встановлено.

Дослідження складних динамічних систем, якими є біологічні системи, пов'язані з необхідністю описання та врахування не лише особливостей окремих елементів систем (частин, ознак), а й залежностей між ними. До найпоширеніших методів вивчення таких залежностей відносять кореляційно-регресійний, а також заснований на ньому факторний і (або) компонентний аналіз.

Розглянемо результати множинної регресії на прикладі морфологічних показників, встановлених для самиць і самців з об'єднаної вибірки ківсяків, зібраних з досліджених трьох типів лісу (табл. 3).

З'ясовано, що для самиць ківсяків довжину вусика (A) серед таких показників, як довжина тіла (L), ширина тіла (I), довжина гнатохілярія (G) та довжина коллума (C), визначають довжина тіла (L) та довжина гнатохілярія (G).

Таблиця 1

Статистичні відмінності середніх серед самиць сірого ківсяка із різних типів лісу (за тестом Тьюкі, $n = 25$, $P \leq 0,05$)

Показник, мм	Тип лісу		
	ясенєво-пакленова байрачна діброва	кленово-ясенєва заплавна діброва	штучне кленове насадження на водорозділі
Довжина тіла (L)	$31,16 \pm 5,129^a$	$32,00 \pm 2,598^{ab}$	$42,84 \pm 2,641^c$
Ширина тіла (I)	$3,22 \pm 0,181^a$	$2,81 \pm 0,375^b$	$3,74 \pm 0,300^c$
Кількість сегментів (S)	$49,04 \pm 1,645^a$	$48,72 \pm 1,137^{ab}$	$51,44 \pm 2,858^c$
Довжина задньої кінцівки (F)	$1,23 \pm 0,305^a$	$1,15 \pm 0,081^{ab}$	$1,32 \pm 0,128^{ac}$
Довжина тельсона (T)	$1,32 \pm 0,129^a$	$1,26 \pm 0,104^{ab}$	$1,60 \pm 0,204^c$
Довжина вусика (A)	$2,052 \pm 0,286^a$	$1,82 \pm 0,128^{ab}$	$2,85 \pm 0,455^c$
Ширина вусика (a)	$0,20 \pm 0,03^a$	$0,26 \pm 0,02^b$	$0,30 \pm 0,058^{bc}$
Довжина гнатохілярія (G)	$1,20 \pm 0,086^a$	$1,22 \pm 0,069^{ab}$	$1,33 \pm 0,09^c$
Ширина гнатохілярія (g)	$1,21 \pm 0,112^a$	$1,25 \pm 0,049^{ab}$	$1,4 \pm 0,008^c$
Довжина язичкових пластин (E)	$0,32 \pm 0,067^a$	$0,49 \pm 0,041^b$	$0,47 \pm 0,041^{bc}$
Ширина язичкових пластин (e)	$0,16 \pm 0,035^a$	$0,23 \pm 0,020^b$	$0,23 \pm 0,024^{bc}$
Довжина проментума (U)	$0,33 \pm 0,046^{abc}$	$0,34 \pm 0,044^{abc}$	$0,35 \pm 0,028^{abc}$
Ширина проментума (u)	$0,23 \pm 0,036^a$	$0,22 \pm 0,035^{ab}$	$0,25 \pm 0,036^{ac}$
Довжина коллума (C)	$1,49 \pm 0,13^a$	$1,39 \pm 0,094^b$	$1,61 \pm 0,216^c$

Примітка. Для показників наведено середнє арифметичне та стандартне відхилення.

Таблиця 2

Статистичні відмінності середніх серед самців сірого ківсяка із різних типів лісу (за тестом Тьюкі, $n = 25$, $P \leq 0,05$)

Показник, мм	Тип лісу		
	ясенєво-пакленова байрачна діброва	кленово-ясенєва заплавна діброва	штучне кленове насадження на водорозділі
Довжина тіла (L)	$34,32 \pm 1,930^a$	$31,24 \pm 2,350^b$	$32,64 \pm 2,325^{bc}$
Ширина тіла (I)	$2,78 \pm 0,279^a$	$2,38 \pm 0,180^b$	$2,90 \pm 0,280^{ac}$
Кількість сегментів (S)	$48,24 \pm 2,046^a$	$47,92 \pm 1,222^{ab}$	$49,88 \pm 1,235^c$
Довжина задньої кінцівки (F)	$1,28 \pm 0,122^a$	$1,14 \pm 0,093^{bc}$	$1,20 \pm 0,117^c$
Довжина тельсона (T)	$1,19 \pm 0,121^a$	$1,14 \pm 0,101^{ab}$	$1,27 \pm 0,104^c$
Довжина вусика (A)	$2,33 \pm 0,279^a$	$1,98 \pm 0,211^b$	$2,63 \pm 0,429^c$
Ширина вусика (a)	$0,21 \pm 0,031^a$	$0,23 \pm 0,023^b$	$0,27 \pm 0,047^c$
Довжина гнатохілярія (G)	$1,10 \pm 0,082^{ac}$	$1,04 \pm 0,099^{ab}$	$1,07 \pm 0,114^{abc}$
Ширина гнатохілярія (g)	$1,12 \pm 0,113^{ac}$	$1,09 \pm 0,081^{ab}$	$1,08 \pm 0,097^{abc}$
Довжина язичкових пластин (E)	$0,39 \pm 0,045^{ac}$	$0,40 \pm 0,039^{ab}$	$0,37 \pm 0,027^{abc}$
Ширина язичкових пластин (e)	$0,20 \pm 0,041^{ac}$	$0,21 \pm 0,030^{ab}$	$0,20 \pm 0,031^{abc}$
Довжина проментума (U)	$0,31 \pm 0,045^a$	$0,30 \pm 0,046^{ab}$	$0,27 \pm 0,020^c$
Ширина проментума (u)	$0,21 \pm 0,046^{ac}$	$0,20 \pm 0,042^{bc}$	$0,19 \pm 0,022^{abc}$
Довжина коллума (C)	$1,28 \pm 0,093^{ac}$	$1,24 \pm 0,093^{bc}$	$1,25 \pm 0,060^{abc}$

Примітка. Для показників наведено середнє арифметичне та стандартне відхилення.

Таблиця 3

Регресійні рівняння залежностей морфометричних ознак представників ківсяка сірого

Показник	Самиці	Самці
Довжина вусика (A)	$A = f(L, I, G, C)$ $A = 0,060 * L$ ($R^2 = 97,7\%$)	$A = f(L, I, a, C)$ $A = 0,886 * I$ ($R^2 = 98,9\%$)
Ширина вусика (a)	$a = f(L, I, A, C)$ $a = 0,007 * L$ ($R^2 = 74,9\%$)	$a = f(L, I, A, C)$ $a = 0,090 * I$ ($R^2 = 96,7\%$)
Довжина гнатохілярія (G)	$G = f(L, I, U, E, C)$ $G = 0,133 * I + 1,518 * U + 0,667 * E$ ($R^2 = 99,6\%$)	$G = f(L, I, U, E, C)$ $G = 0,098 * I + 0,635 * C$ ($R^2 = 99,5\%$)
Ширина гнатохілярія (g)	$g = f(L, I, u, e, C)$ $g = 0,092 * I + 0,950 * u + 1,090 * e + 0,346 * C$ ($R^2 = 99,7\%$)	$g = f(L, I, u, e, C)$ $g = 0,016 * L + 0,428 * C$ ($R^2 = 99,7\%$)
Довжина язичкових пластин (E)	$E = f(G, g, L, I)$ $E = 0,350 * G + 0,010 * L - 0,117 * I$ ($R^2 = 98,1\%$)	$E = f(G, g, L, I)$ $E = 0,362 * g$ ($R^2 = 99,1\%$)
Ширина язичкових пластин (e)	$e = f(G, g, L, I)$ $e = 0,174 * G + 0,005 * L - 0,058 * I$ ($R^2 = 98,3\%$)	$e = f(G, g, L, I)$ $e = 0,006 * L$ ($R^2 = 98,2\%$)
Довжина проментума (U)	$U = f(G, g, L, I)$ $U = 0,445 * g - 0,006 * L$ ($R^2 = 99,1\%$)	$U = f(G, g, L, I)$ $U = 0,261 * g$ ($R^2 = 98,7\%$)
Ширина проментума (u)	$u = f(G, g, L, I)$ $u = -0,153 * G + 0,332 * g$ ($R^2 = 98,4\%$)	$u = f(G, g, L, I)$ $u = 0,194 * g$ ($R^2 = 97,4\%$)
Довжина коллума (C)	$C = f(L, I, G, A)$ $C = 0,023 * L + 0,558 * G$ ($R^2 = 99,4\%$)	$C = f(L, I, G, A)$ $C = 0,025 * L + 0,391 * G$ ($R^2 = 99,7\%$)

Примітка. Коефіцієнти детермінації наведено з урахуванням ступенів свободи.

При цьому сила вкладу довжини гнатохілярія (G) більша, ніж сила вкладу довжини тіла (L). Звернемо увагу, що розміри вусика (його довжину та ширину) не визначають показники, що належать до елементів гнатохілярія. Для довжини гнатохілярія (G) у самиць визначальними характеристиками є ширина тіла (I), довжина проментума (U) та довжина язичкових пластин (E); для ширини гнатохілярія (g) – ширина тіла (I), ширина проментума (u), ширина язичкових пластин (e), довжина коллума (C). Установлено, що ширина гнатохілярія (g) важлива у прогнозуванні розміру проментума.

Між самицями та самцями встановлена така особливість: визначальним показником для ширини вусика у самиць виявлена довжина тіла (L), у той час як для самців це ширина тіла (I). Довжину та ширину гнатохілярія самиць можна прогнозувати за довжиною коллума i , відповідно, за шириною тіла (I) та довжиною тіла (L). Розміри таких елементів гнатохілярія, як довжина язичкових пластин (E), довжина (U) та ширина (u) проментума, можна описати зміною ширини гнатохілярія (g). Довжину коллума (C) самців, як і у випадку із самицями, можна добре передбачити за довжиною тіла (L) та довжиною гнатохілярія (G).

Висновки

Отже, ґрунтові тварини, зокрема сапрофаги, займають особливе місце в процесах ґрунтоутворення та трансформації органічної речовини ґрунтів. Сапрофаги є головними механічними руйнівниками рослинного відмерлого листового опаді, беруть участь у гуміфікації рослинних залишків, а також у мінералізації і виділенні біогенних хімічних елементів. Крім того, досить значуща їх структуроутворювальна діяльність. У цілому ці функції сапрофагів забезпечують таку екосистемну послугу, як підвищення родючості ґрунтів і участь у круговороті живильних речовин. Вигоди, які отримує від таких послуг не тільки ґрунт, але й лісова екосистема в цілому, визначає значущість цієї групи тварин.

Статистичне множинне порівняння середніх аналізу (за критерієм Тьюкі) виявило, що для самиць сірого ківсяка, відібраних у ясенево-пакленовій байрачній діброві, кленово-ясеневій заплавної діброві, штучному кленовому насадженні на плакорі в умовах степової зони, спостерігаються статистично достовірні розбіжності за середньою шириною та довжиною тіла, а також довжиною коллума, для самців – за шириною та довжиною вусика. Для середньої довжини та ширини язичкових пластин, довжини та ширини гнатохілярія розбіжностей між самцями з різних типів лісу не встановлено.

Результати досліджень основних морфометричних показників представників ківсяка сірого дозволили з'ясувати статистичні взаємозалежності середнього значення певної розмірної характеристики у такому комплексі ознак, як загальні розміри тіла, розміри органів почуття і розміри елементів гнатохілярія, та представити для них математичні моделі з високим ступенем працездатності та величиною рівня апроксимації даних. Установлено, що довжина та ширина вусиків ківсяка сірого відповідно корелюють з довжиною (для самиць) та шириною (для самців) тіла. Стосовно елементів гнатохілярія, то для самиць визначено більший спектр ознак, який входить до математичних моделей. Так, довжину та ширину їх язичкових пластин можна розрахувати за адитивним (сумарним) ефектом довжини та ширини тіла, довжини гнатохілярія, для самців – відповідно за вкладом тільки ширини гнатохілярія та довжини тіла. Визначені особливості є елементами морфологічної інтеграції, від якої залежить структурна (та функціональна) цілісність організмів як системи.

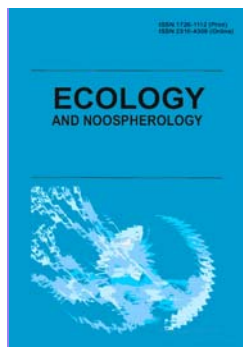
Подяка

Представлені матеріали – частина науково-дослідної роботи «Екологічні основи зоопертинентного впливу тварин на процеси оптимізації природних і порушених екосистем в умовах сучасного природокористування» (номер держреєстрації 0117U001207). Дослідження виконано завдяки фінансовій підтримці Міністерства освіти і науки України.

References

- Adler, Yu. P., Markova, E. V., Granovskij, Yu. V. (1976). Planirovanie ehksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovi [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Bonkowski, M., Scheu, S., Schaefer, M. (1998). Interactions of earthworms (*Octolasion lacteum*), millipedes (*Glomeris marginata*) and plants (*Hordelymus europaeus*) in a beechwood on a basalt hill: implications for litter decomposition and soil formation. *Appl. Soil Ecology*, 9, 161–166.
- Bulakhov, V. L., Pakhomov, O. Ye. (2011). Funkcional'na zoologiya: Pidruchnik. [Functional Zoology: Textbook]. DNU, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Byzov, B. A., 2005. Zoomikrobnnye vzaimodejstviya v pochve [Zoomicrobial interactions in the soil]. Geos, Moscow (in Russian).
- Chernova, N. M. (1977). Ekologicheskie sukcesii pri razlozhenii rastitel'nyh ostatkov [Ecological successions in the decomposition of plant residues]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Dymond, P., Scheu, S., Parkinson, D. (1997) Density and distribution of *Dendrobaena octaedra* (Lumbricidae) in aspen and pine forests in the Canadian Rocky Mountains (Alberta). *Soil Biol. Biochem.*, 29(3/4), 265–273.
- Eisenhauer, N. (2010). The action of an animal ecosystem engineer: Identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. *Pedobiologia*, 53(6), 343–352.
- Gilyarov, M. S. (1970). Bespozvonochnye – razrushiteli podstilki i puti povysheniya ih poleznoj deyatel'nosti [Invertebrates as litter destroyers and ways of increasing their beneficial activity]. *Ekologiya*, 2, 8–21 (in Russian).
- Griffiths, B. S., Bonkowski, M., Roy, J., Ritz, K. (2001) Functional stability, substrate utilization and biological indicators of soils following environmental impacts. *Appl. Soil Ecology*, 16, 49–61. PII: S0929-1393(00)00081-0
- 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.
- Kadem, D. E. D., Rached, O., Krika, A., Gheribi-Aoulmi, Z. (2004) Statistical analysis of vegetation incidence on contamination of soils by heavy metals (Pb, Ni and Zn) in the vicinity of an iron steel industrial plant in Algeria. *Environmetrics*, 15(5), 447–462.
- Klymenko, G. Kovalenko, I., Lykholat, Yu., Khromykh, N., Didur, O. & Alekseeva, A. The integral assessment of the rare plant populations. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2017, 7(2), 201–209.
- Krivoluckij, D. A., Pokarzhevskij, A. D., Mihal'cova, Z. A. (1982). Rol' nazemnyh i pochvennyh bespozvonochnyh v biogennoj migracii zol'nyh ehlementov i ee osobennosti v Podmoskov'e [The role of terrestrial and soil invertebrates in the biogenic migration of ash constituents, and its features in the Moscow region]. *Bioindikaciya sostoyaniya okruzhayushchej sredy Moskvy i Podmoskov'ya*, Nauka, Moscow, 82–92 (in Russian).

- Kul'bachko, Y. L., Didur, O. O., Loza, I. M., Pakhomov, O. E. & Bezrodnova, O. V. (2015). Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin*, 42(10), 899–904.
- Kurcheva, G. F. (1960). Rol' bespozvonochnykh zhyvotnykh v razlozhenii dubovogo opada [The role of invertebrates in the decomposition of oak litter]. *Pochvovedenie*, 4, 20–23 (in Russian).
- McDonald, J. H. (2014). *Handbook of biological statistics*, 3rd edn. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland.
- Prishutova, Z. G. (2001). Morfometricheskij analiz chastej tela i mezhpopylyacionnaya izmenchivost' u kivsyaka *Rossius kessleri* (Julidae) [Morphometric analysis of the body parts and interpopulation variability in the diplopoda *Rossius kessleri* (Julidae)]. *Zoologicheskij zhurnal*, 80(7), 789–796 (in Russian).
- Pylypenko, A. F., Ganin, G. N., Smirnov, Yu. B. (1983). O polozhitel'nom vozdeystvii dvuparnonogih i litobiomorfnykh mnogonozhek na processy transformacii mikroelementov v sisteme opad – podstilka – pochva [About positive effect of diplopoda and centipedes on the transformation of trace elements in the litter – soil system]. *Ischezayushchie i redkie rasteniya, zhyvotnye i landschafty*. Dnepropetrovshchiny, DGU, Dnepropetrovsk, 97–102 (in Russian).
- Pylypenko, A. F., Smirnov, Yu. B. (1989). Ekologicheskij monitoring pochvoobitayushchih bespozvonochnykh stepnogo Pridneprov'ya [Ecological monitoring of soil dwelling invertebrates of the steppe Dnieper region]. *Vsesoyuznoe soveshchanie po probleme kadastra i ucheta zhyvotnoy mira*. V 5-ti ch., 4, Ufa, 223–224 (in Russian).
- Solov'ev, S. V., Brygadyrenko, V. V. (2003). Zoologicheskaya indikaciya pojmennoy pochvoobrazovaniya v usloviyah Dneprovsko-Orel'skogo zapovednika [Zoological indication of floodplain soil formation in the conditions of the Dnieper-Orel reserve]. *Rol' prirodno-zapovednykh teritorij u pidtrimanni bioriznomanitya*. Kaniv, 332–333 (in Russian).
- Stebaev, I. V. (1984). Zoomikrobioticheskie komplekсы v bioecocenozech (osnovnye itogi i perspektivy izucheniya) [Zoomicrobiotic complexes in biocenoses (main results and prospects for further researching)]. *Pochvennye organizmy kak komponenty biogeocenoza*, Nauka, Moscow, 40–53 (in Russian).
- Striganova, B. R. (1980). Pitanie pochvennykh saprofagov [The feeding of soil saprophages]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Striganova, B. R. (2000). Lokomotornaya i troficheskaya aktivnost' bespozvonochnykh kak faktor formirovaniya pochvennoj struktury [Locomotor and trophic activity of invertebrates as a factor of the soil structure formation]. *Pochvovedenie*, 10, 1247–1254 (in Russian).
- Tarashchuk, M. V., Bezukrovna, O. V. (2000). Viktoristannya sinekologichnykh pokaznikov kolembol (Collembola, Entognatha) dlya ocinki effektivnosti rekultivacii runtu [Use of cynecological indicators of collembollans (Collembola, Entognatha) to evaluate the efficiency of soil remediation]. *Visnik Dnipropetrovskogo universitetu. Seriya Biologiya. Ekologiya*. 1(8), DDU, Dnipropetrovsk, 49–58 (in Ukrainian).
- Tiunov, A. V. (2007). Metabioz v pochvennoj sisteme: vliyanie dozhdnykh chervej na strukturu i funkcionirovanie pochvennoj bioty [Metabiosis in the soil system: the effect of earthworms on the structure and functioning of soil biota]. *Avtoref. dissert.* Moscow (in Russian).



Effect of zoogenic litter on soil's chemical properties in forest biogeocoenoses of steppe Prydniprov'ia

M. V. Shulman, O. Y. Pakhomov

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 11.11.2018

Received in revised form

16.11.2018

Accepted 20.11.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-099-772-43-49
E-mail: marishu@ukr.net*

Shulman, M. V., & Pakhomov, O. Y. (2018). Effect of zoogenic litter on soil's chemical properties in forest biogeocoenoses of steppe Prydniprov'ia. Ecology and Noospherology, 29(2), 131–137. doi:10.15421/031821

The aspects of the process of decomposition and recycling of zoogenic litter (dead animals of different classes) were first ascertained for the steppe Prydniprov'ia. Influence of destruction of necrotic organic matter on soil properties (*pH*, *NPK*-complex) in forest ecosystems in the steppe zone of Ukraine was estimated. Decomposition and recycling processes of dead animals (chickens, rats) on the experimental plots in biogeocoenoses with artificial oak plantations, sampling soil under dead bodies after the active stages of decomposition with different soil horizons at the same time with control samples, its chemical analysis allowed to determine the effect of degradation necrotic organic matter on the *pH* value and the content of some chemical elements (*N*, *P*, *K*) in the soil studied ecosystems. In this article the results of investigation of the effect of zoogenic litter on some chemical properties of soil in forest biogeocoenoses of steppe Prydniprov'ia are presented. The effect of chickens and rats corpses' decomposition on the *pH* of soil, nitrogen, phosphorus and potassium indexes in the soil is analyzed. The influence of the expansion of animal carcasses on soil chemical properties in different soil horizons compared with control values (without the presence of animal carcasses) is identified. It was found that under the effect of decomposition of animals' corpses the *pH* of the soil increases. Under the corpses of chickens *pH* increases by 6,4–16,7 %, and rats – 2,2–14,2 % compared to control values. The content of nitrogen in the soil under the corpses of chickens increases by 9,5–42,2 %, and under the corpses of rats – to 25,5–25,7 %. Phosphorus content under the corpses of chickens increases by 28,4–107,7 % of rats – to 57,5–75,7 %. The content of potassium in the soil under the corpses of chickens increased by 3,63 % to 69,8 %, and the corpses of rats – by 6,8–23,0 %. Consequently zoogenic litter is an important factor in the accumulation of *NPK*-complex in the soil. Thus process of animal corpse decomposition has positive effect for chemical properties of forest soil and biogeocoenoses generally.

Keywords: zoogenic litter; necrotic organic matter; corpses of chickens; corpses of rats; excrements; *NPK*-complex in the soil; soil horizons

Вплив зоогенного опадів на хімічні властивості ґрунту в лісових біогеоценозах степового Придніпров'я

М. В. Шульман, О. Є. Пахомов

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

У статті представлено результати досліджень впливу зоогенного опадів на деякі хімічні властивості ґрунту в лісових біогеоценозах степового Придніпров'я. Досліджено вплив розкладання трупів курчат і щурів на: рівень *pH* ґрунту, вміст азоту, фосфору та калію в ґрунті. Проаналізовано вплив розкладання трупів тварин на хімічні властивості ґрунту на різних ґрунтових горизонтах, порівняно з контрольними значеннями (без наявності трупів тварин). З'ясовано, що за дії розкладання трупів тварин рівень *pH* ґрунту підвищується. Під трупами курчат *pH* зростає на 6,4–16,7 %, а щурів – на 2,2–14,2 % відносно контрольних значень. Вміст азоту в ґрунті під трупами курчат зростає на 9,5–42,2 %, а під трупами щурів – на 25,5–25,7 %. Вміст фосфору під трупами курчат зростає на 28,4–107,7 %, щурів – на 57,5–75,7 %. Вміст калію в ґрунті під

трупами курчат підвищується на 3,63 % до 69,8 %, а під трупами щурів – на 6,8–23,0 %. Отже, зоогенний опад – важливий фактор у накопиченні *НПК*-комплексу в ґрунті.

Ключові слова: зоогенний опад; некроорганіка; трупи курчат; трупи щурів; екскременти; *НПК*-комплекс у ґрунті; ґрунтові горизонти

Вступ

Ґрунт – найважливіший і невід’ємний компонент будь-якого біогеоценозу. Саме в ньому відбувається взаємодія живої та неживої природи, тому він належить до класу біокосних тіл. Хімічні елементи мінеральної природи, звільняючись із кристалічних ґраток мінералів, стають частиною живої речовини, беруть участь у її життєвих процесах. І навпаки, жива речовина, відмираючи, мінералізується, переходить у мінеральну форму. У результаті життєдіяльності тваринного населення у вигляді зоогенного опадів до екосистем потрапляє значна частина переробленої автотрофної і гетеротрофної біологічної продукції. Зоогенний опад представлений відмерлою частиною зооценозу (трупи тварин) і трофометаболічним поверненням у вигляді екскреторних виділень (Pakhomov, 1998 b; Domnich, 2014).

Відмирання чи загибель тварин постійно відбувається у природі, їх трупи стають ресурсом для мікроорганізмів, безхребетних-некрофагів чи хребетних-сміттярів, тварин-санітарів. У наземних екосистемах серед усього комплексу деструкторів некроорганіки основну частину тканин утилізують комахи, а саме двокрилі та твердокрилі. Завдяки злагодженій діяльності некробіонтів та некрофагів відбувається прискорення розкладання трупів тварин. Представники некроентомофауни також беруть участь у процесі мінералізації через розкладання складних гнильних речовин до найпростіших компонентів, роблять їх доступними для інших організмів.

Вплив зоогенного опадів (трофометаболіти й трупи тварин) на хімічні властивості ґрунту має два прояви. Перший – це додаткове надходження цінного добрива, де в результаті деструкції зоогенного опадів ґрунт збагачується неорганічними та мінеральними речовинами. Другий – екскременти й трупи тварин стають хімічним катализатором, що прискорює деструкційний процес накопиченого запасу органічної речовини. Обидва ці прояви зумовлюють зміни хімічних властивостей ґрунтів і підвищують їх родючість (Bulakhov et al., 1989; Pakhomov, 1998 a).

Природна смертність мікромамалій, зокрема мишоподібних гризунів, у природних екосистемах у середньому становить: при високій чисельності популяцій (до 600 особ./га) – 90–95 %; при середній чисельності (350–400 особ./га) – 75–85 %; при низькій чисельності (200–350 особ./га) – 60–70 % (Bulakhov, Pakhomov, 2006).

Причинами природної загибелі тварин є інфекційні захворювання і епізоотії, природна смерть, їх участь у трофічних ланцюгах як їжа макроконсументів вищих порядків (Bulakhov, Pakhomov, 2006; Kucheruk, 2006). Слід зазначити, що загибель може наступити як на поверхні ґрунту, так і в нірках, що має велике значення у швидкості розкладання трупів тварин, оскільки обмеження доступу комах некрофільного комплексу до трупу сповільнює процес розкладання в 1,5–3 рази, у порівнянні з інтенсивністю розкладання трупів при вільному доступі некроентомофауни (Payne, 1965).

Причини природної загибелі птахів (для осілих і кочуючих видів) у природних екосистемах можливі такі: дефіцит корму, природна смертність, як ланка в трофічних ланцюгах екосистеми, інфекційні хвороби та епізоотії, суворозима (Bulakhov et al., 2008).

Трупи стають ресурсом для мікроорганізмів, безхребетних-некрофагів або хребетних-сміттярів – тварин-санітарів. У наземних екосистемах серед усього комплексу деструкторів некроорганіки основну частину

тканин утилізують комахи, головним чином представники рядів Diptera і Coleoptera (Payne, 1965; Ozerov, 1989; Blackith & Blackith, 1990; Tantawi, El-Kady, Greenberg et al., 1996; Goff, 2000; Lyabzina, 2003). Завдяки злагодженій діяльності некробіонтів і некрофагів відбувається інтенсифікація розкладання та утилізації трупів тварин (Early & Goff, 1986; Dillon, 1997; Lyabzina, 2003).

Некроентомофауна також бере участь у процесах мінералізації і в загальному біогеоценологічному колообігу речовин через розкладання (Payne, 1965; Early & Goff, 1986; Dillon, 1997).

Визначення впливу процесів розкладання зоогенного опадів на ґрунти різних за типом біогеоценозів, вивчення некрофільної фауни, участі її в процесі розкладання некроорганіки в природі, а також в умовах підвищеного антропогенного тиску є важливими аспектами екології.

Матеріали та методи досліджень

Для визначення впливу деструкції зоогенного опадів на значення *pH* та вміст деяких хімічних елементів (*N*, *P*, *K*) ґрунту нами був проведений експеримент з розкладання та утилізації трупів тварин (курчата, щури) на експериментальній ділянці в біогеоценозі зі штучним дубовим насадженням (ПД № 224, с. Андріївка, Новомосковський р-н, Дніпропетровська обл.). Проби ґрунту відбиралися у шестиразовому повторенні з кожного ґрунтового горизонту (*H*₀ – 0–10 см; *H*₁ – 10–20 см; *H*₂ – 20–30 см) як під трупами курчат, так і під трупами щурів після активних стадій розкладання зоогенного опадів (8–10-й день). Контрольні зразки – проби ґрунту з кожного ґрунтового горизонту без трупів. Для хімічного аналізу проб ґрунту застосовували методи колориметрії (визначення рухомої форми фосфатів у витяжці за Чириковим та нітратного азоту з використанням хромотропової кислоти), полум’яної фотометрії (визначення рухомої форми калію у витяжці за Чириковим). Значення *pH* водної витяжки зразків ґрунту визначали за допомогою *pH*-метра (Pakhomov et al., 2010).

Результати та їх обговорення

Вплив зоогенного опадів на *pH* ґрунту. У цілому вплив процесів розкладання зоогенного опадів позитивний. Наприклад, за даними А. В. Домніча (2015), екскреції ратичних в умовах острівних екосистем чинять інтегрований опосередкований і безпосередній вплив на ґрунт, що сприяє процесу гумусоутворення у верхніх шарах ґрунту. Кількість гумусу, залежно від типу екосистем і виду ратичних, збільшується в 1,5–3,7 рази. Гідролітична кислотність знижується на 29–38 %. Ефективність впливу екскрецій на збільшення у ґрунті поживних речовин (комплекс *НПК*) залежить від ступеня родючості ґрунтів. У збіднених ґрунтах він більш істотний, ніж у родючих – лісових екосистемах (Domnich, 2015). А за даними К. Cobaugh et al. (2015), у результаті досліджень впливу розкладання трупів людей на функціональну й структурну сукцесію ґрунтових мікробіальних угруповань виявлено, що розкладання некроорганіки викликало імпульси зростання вуглецю, поживних речовин (зокрема, аміаку), підвищення мікробіальної активності в ґрунті (Cobaugh, Schaeffer et al., 2015).

Розкладання та утилізація трупів тварин (курчат, щурів) на експериментальній ділянці у біогеоценозі зі штучним дубовим насадженням (ПД № 224, с. Андріївка, Новомосковський р-н, Дніпропетровська обл.), відбір проб

грунту під трупами після активних стадій розкладання з різних ґрунтових горизонтів одночасно з контролем на хімічний аналіз дозволив визначити вплив деструкції некроорганіки на значення pH та вміст деяких хімічних елементів (N , P , K) ґрунту в досліджених біогеоценозах.

За результатами наших досліджень процес розкладання та утилізації трупів тварин чинить позитивну дію на зниження кислотності ґрунту (рис. 1). У контрольних вимірах pH ґрунту відмічається поступове підвищення індексу з поверхневих шарів до глибини 30 см: у поверхневому ґрунтовому горизонті (H_0) значення pH складало у середньому 6,88, на H_1 ґрунтовому горизонті (гг) на 3,2 % вище, а на H_2 гг на 8,3 % вище відносно контролю у H_0 гг. Під трупами курчат показники pH проб ґрунту з усіх ґрунтових горизонтів мали вище значення відносно контрольних зразків, але порівняно з контрольними індексами у H_0 горизонті під трупами реакція зростає в середньому на 16,7 %, у H_1 гг – на 8,4 % щодо контрольного індексу pH у цьому горизонті та на 6,4 % вище за контроль у H_2 гг. Отже, найвищий показник pH розкладання трупів курчат реєструється на H_0 ґрунтовому горизонті.

За впливу розкладання трупів щурів також спостерігається підвищення реакції ґрунту порівняно з контрольними зразками: у H_0 гг – на 2,2 % та у H_2 гг – на 14,2 % відносно контрольних значень у наведених ґрунтових горизонтах. На H_1 гг показник реакції ґрунту, навпаки, зменшується в середньому на 10,6 % щодо індексів контролю в цьому шарі ґрунту. Таким чином, максимальне значення pH ґрунту (8,51) відмічається під трупами щурів у горизонті 20–30 см (рис. 1). Вірогідно, це пов'язано з більш тривалим процесом розкладання трупів щурів порівняно з трупами птахів, з наявністю більшої кількості некроорганіки і, як наслідок, більшим виділенням ексудату в ґрунт. Імовірно, рідкі продукти розкладання некроорганіки щурів швидко всмоктуються в шари ґрунту й акумулюються в більш глибинних ґрунтових горизонтах з більш щільною механічною структурою. Зазначимо, що підвищення рівня pH ґрунту може зумовлюватися й змінами ґрунтового мікробіоценозу, оскільки під трупами, що розкладаються, підвищується вміст протеобактерій, а ацидобактерій зменшують свою чисельність. У цілому після стадій активного розкладання некроорганіки темпи зростання біомаси мікроорганізмів в глибинних шарах ґрунту скорочуються (Cobaugh, Schaeffer et al., 2015).

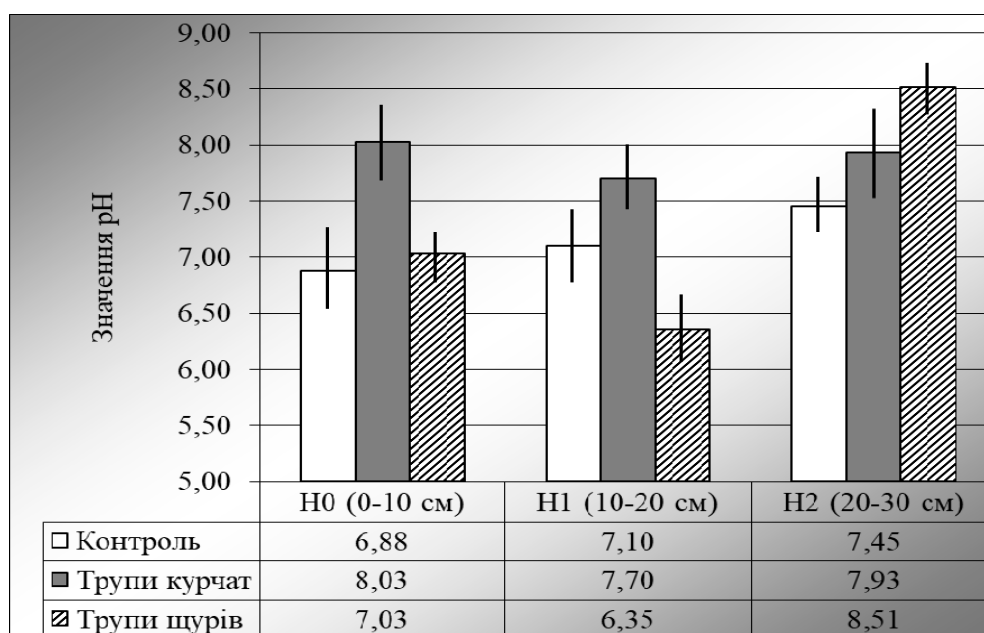


Рис. 1. Вплив зоогенного опад на pH водної витяжки ґрунту

Умовні позначення: стовпці – середні значення ознаки, вертикальні лінії – стандартна похибка

Слід зауважити, що зоогенний опад відіграє суттєву роль у прискоренні деструкційного процесу під час розкладання підстилки. Під трупами тварин, що розкладаються, на 3–5-й день експозиції трупів (активна фаза розкладання) підстилка сильно дефрагментується завдяки інтенсивній діяльності комах некробіотного комплексу, особливо через виділення протеолітичних ферментів у процесі життєдіяльності личинок некробіотних двокрилих (Calliphoridae, Sarcophagidae, Muscidae). Завдяки некробіотним Coleoptera (представникам Necrophorinae та Geotrupidae) відбувається перемішування фрагментів підстилки і верхнього шару ґрунту. Це сприяє й поліпшенню фізичних властивостей ґрунту – зменшенню його щільності, підвищенню порозності та водопроникності (Pakhomov, 1998 b; Pakhomov et al., 2010). За даними J. Сагу (1994), діяльність личинок жуків-копрофагів та некрофагів сприяє прискоренню гуміфікації та мінералізації речовин підстилки, перетворенню їх на ґрунтовий детрит і перемішуванню з мінеральною масою ґрунту (Сагу, 1994).

Надходження і накопичення комплексу NPK у ґрунті за дії зоогенного опад зумовлене багатьма факторами:

кількістю трупної маси тварини, типом зовнішніх покривів трупа (луска, хутро, пір'я тощо), типом біогеоценозу, де міститься труп тварини, тривалістю експозиції трупа та кліматичними факторами – особливо дією посушливого періоду, який знижує і навіть призупиняє деструктивні процеси зоогенного опад (Ozerov, 1988; Pakhomov, 1998 b).

Вплив зоогенного опад на вміст азоту в ґрунті.

Поживні елементи в ґрунті перебувають у розчиненому або обмінному стані у вигляді йонів. Рослини з ґрунту крім води одержують різні мінеральні речовини: нітроген (амонійний та нітратний іони), фосфор (моно- й дифосфати), калій, кальцій, магній, сульфур, ферум, манган, купрум, молібден, бор, цинк тощо. Такі хімічні елементи, як N , P , K , відіграють виняткову роль у розвитку органічного світу. Особливо важливе місце тут посідає азот як один з елементів-органогенів. Через те що він фактично міститься в атмосфері, рослини відчувають потребу в ньому, оскільки використовувати для своїх потреб вони можуть лише нітроген ґрунтових ресурсів (Pakhomov et al., 2010; Cobaugh et al., 2015).

Дослідження впливу зоогенного опадів на вміст азоту в ґрунті виявило зростання кількості азоту в усіх експериментальних зразках ґрунту порівняно з контролем (рис. 2). Причому контрольні значення вмісту нітрогену поступово знижуються від поверхневих ґрунтових горизонтів до глибинних, а саме: H_0 (на 30,0 %) > H_1 (на 55,5 %) > H_2 . Отже, середній вміст азоту в контрольних зразках ґрунту на глибині 20–30 см виявився мінімальним (0,28 мг/100 г ґрунту). Аналогічна тенденція спостерігається в пробах ґрунту під трупами курчат: H_0 (на 46,1 %) > H_1 (на 43,5 %) > H_2 . У зразках ґрунту під трупами щурів показники вмісту азоту виявились практично однаковими. Найвищий середній показник вмісту азоту зареєстрований на H_1 г (1,18 мг/100 г ґрунту), що на 87,3 % вище за аналогічний показник у контролі.

Узагалі простежується тенденція зниження кількості азоту в ґрунті з поверхневих шарів до глибших, як це показано на діаграмі з контрольними зразками ґрунту та під трупами курчат.

Високі показники вмісту азоту на H_0 ґрунтовому горизонті зареєстровані під трупами курчат (на 42,2 %

вище контрольного індексу). На H_2 ґрунтовому горизонті (20–30 см) відмічається збільшення показників вмісту азоту на 39,3 % і на 257 % під трупами курчат і щурів відповідно. Проби ґрунту на хімічний аналіз відбиралися одночасно під усіма типами трупів. Отже, вміст азоту накопичується більше в поверхневих та глибинних шарах ґрунту (останнє реєструється у випадку з трупами щурів).

Слід зауважити, що порівняно з розкладанням екскрементів хребетних тварин (за літературними даними) відмічається схожа тенденція (Bulakhov, Dubina, Reva, 1989; Pakhomov, 1998 a, 1998 b; Bulakhov, Pakhomov, 2000 a, 2000 b). Наприклад, за даними О. Є. Пахомова (1998), під екскреціями лисиці у загальній 50-сантиметровій товщі ґрунту вміст азоту практично однаковий з контролем, де його зниження становить до 6 %. У верхніх шарах ґрунту (0–10 см) його значно менше порівняно з глибиною 10–20 см, де кількість азоту збільшується і перевищує контрольні індекси на 400 % (Pakhomov, 1998 b). А за матеріалами досліджень А. В. Домніча, під екскреціями козулі європейської за півроку експозиції вміст азоту в ґрунті збільшується в середньому на 38,3 % (Domnich, 2014).

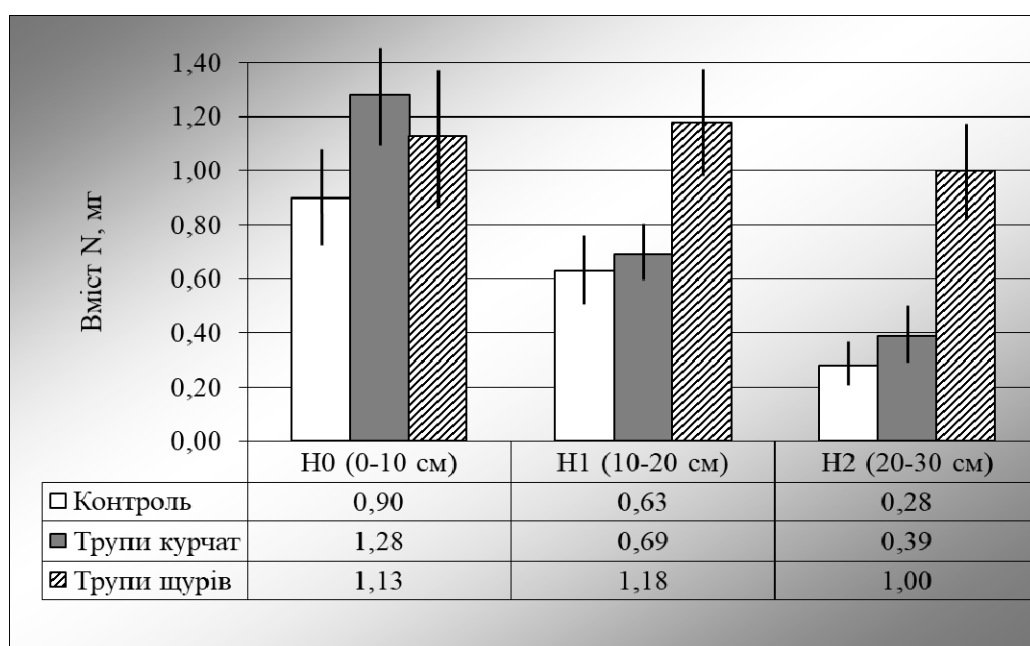


Рис. 2. Вплив зоогенного опадів на вміст азоту в ґрунті, мг/100 г ґрунту
Умовні позначення показано на рис. 1.

Таким чином, максимальне значення азоту відмічається у зразках ґрунту під трупами курчат у верхньому ґрунтовому горизонті (1,28 мг/100 г ґрунту). У середньому на 9,2 % нижчим виявився показник дослідженого індексу у зразку ґрунту під трупами щурів у H_1 ґрунтовому горизонті. Зазначимо, що ефективність розкладання трупів щурів порівняно з розкладанням курчат виявилась вищою – реєструються високі показники вмісту нітрогену в пробах ґрунту на всіх горизонтах. Це, імовірно, пояснюється тим, що азот у результаті розкладання м'яких трупних тканин активно звільняється завдяки деструкційним процесам за участю мікроорганізмів, проникає у більш глибокі шари ґрунту, де здатен накопичуватися. Трупи птахів розкладаються практично вдвічі швидше, ніж трупи ссавців, і виділяється значно менше ексудату, який не проникає у більш глибинні шари ґрунту.

Зазначимо, що під час розкладання некроорганіки спостерігається збільшення різноманітностей азоту – пептидів, амінокислот, амонійних сполук. Виявлено підвищену активність протеази і вільних коефіцієнтів обертання амінокислот, що сприяє збільшенню швидкості дихання мікробіоценозу під трупами, підвищення

інтенсивності мінералізації азоту та вуглецю (Cobaugh et al., 2015). Додаткове надходження азоту до ґрунтів сприяє продуктивності рослинних угруповань і біогеоценозів у цілому (Stantso, Chernenko, 1983; Pakhomov et al., 2010).

Вплив зоогенного опадів на накопичення фосфору в ґрунті. Фосфор у ґрунт повертається із зоогенним опадом (екскрементами і під час гниття трупів). Фосфобактерії переводять органічний фосфор в неорганічні сполуки. В організмі фосфор акумулюється переважно у скелеті, м'язах і нервовій тканині (Stantso, Chernenko, 1983).

Дослідження впливу зоогенного опадів на накопичення фосфору в ґрунті виявили максимальний рівень вмісту фосфору також під трупами курчат на H_0 ґрунтовому горизонті. Під трупами щурів на H_0 і H_2 горизонтах рівень фосфору майже однаковий (рис. 3).

У цілому простежується тенденція акумуляції фосфору у верхньому ґрунтовому горизонті (0–10 см) та на глибині 20–30 см, особливо це помітно у зразках ґрунту під трупами щурів (H_2 г), де середній показник вмісту фосфору виявився на 75,6 % вищим за контрольний індекс і на 28,4 % вищим за аналогічний показник розкладання трупів курчат. Слід зауважити, що порівняно з розкладанням екскрементів хребетних тварин (за

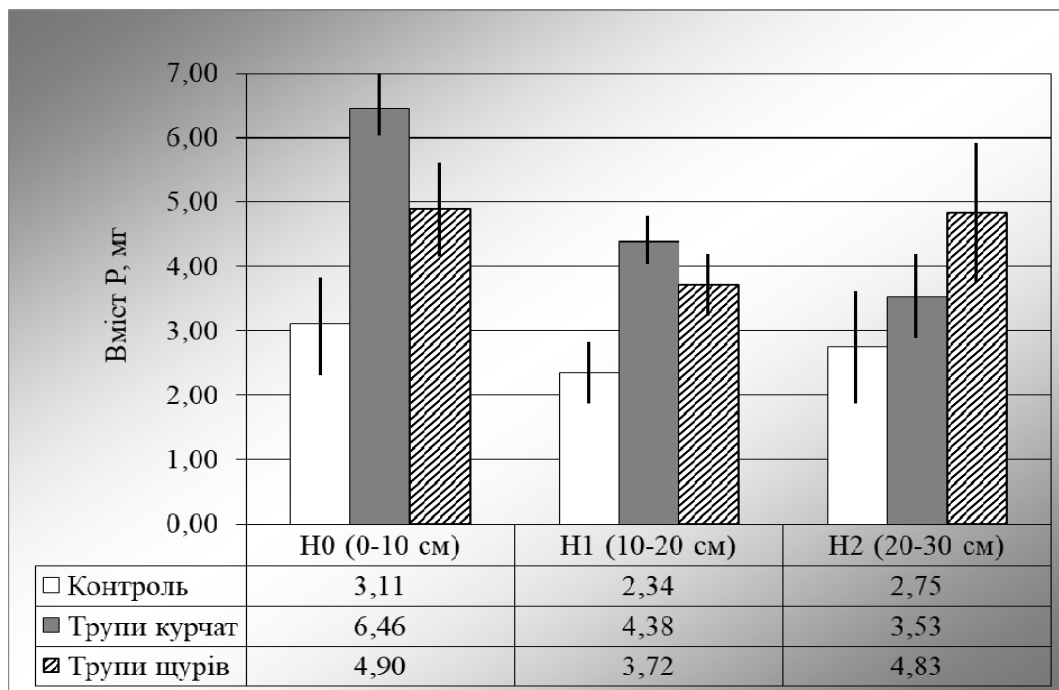


Рис. 3. Вплив зоогенного опадів на вміст фосфору в ґрунті, мг/100 г ґрунту

Умовні позначення показано на рис. 1.

літературними даними) відмічається схожа тенденція. Наприклад, за даними О. Є. Пахомова, вплив екскрецій кабана, козулі та лисиці на накопичення фосфору в ґрунтах штучних дубняків виявився позитивним. Так, у 50-сантиметровій товщі ґрунту під екскреціями козулі його вміст збільшується на 84,9 %, під екскреціями кабана та лисиці – в середньому на 39,2 %. У верхніх горизонтах вміст фосфору завжди більший порівняно з контролем (Pakhomov, 1998 b). А за результатами досліджень А. В. Домніча, за впливу екскрементів копитних відбувається поступове зростання запасів фосфору у середньому на 60–70 %; вміст фосфору у ґрунтах за впливу екскрецій ратичних збільшується на 14–193 % (Domnich, 2014, 2015). Цікаво, що, за даними К. Cobaugh et al. (2015), у пробах ґрунту, зібраних під трупами людей після активних фаз їх розкладання, спостерігається підвищення активності фосфодієстерази та ліполітична активність (Cobaugh et al., 2015).

У наших дослідженнях максимальне значення фосфору виявлене на *H0* ґрунтовому горизонті під трупами курчат (6,46 мг/100 г ґрунту), це вище на 107,7 % відносно контрольного показника. Зазначимо, що під трупами курчат вміст фосфору поступово знижується у напрямку з верхніх шарів ґрунту до глибинних: *H0* (на 47,5 %) > *H1* (на 24,1 %) > *H2*. А в контрольних зразках та в пробах ґрунту під трупами щурів відмічається схожа тенденція – у *H0* та *H2* гґ показники вмісту фосфору вищі за аналогічні у *H1* гґ (рис. 3).

Вплив зоогенного опадів на накопичення калію в ґрунті. Відомо, що частина йонів калію за дисоціювання молекул K_2CO_3 залишається в ґрунтовому розчині, який для рослин слугує джерелом живлення. Але більша частина йонів калію поглинається колоїдними частинками ґрунту в малодоступній для коренів рослин формі. «ґрунт поглинає калій, і в цьому його чудодійна сила», – вислів академіка О. Є. Ферсмана. Калій – життєво необхідний елемент для росту й розвитку рослин. Дефіцит його в ґрунті неодмінно спричинює в'янення і загибель рослинного організму. Для організму тварин калій також укрив важливий біогенний метал. Солі калію не можуть бути замінені ніякими іншими солями. Вони містяться в крові, протоплазмі клітин, печінці й селезінці. У м'язах людини калій переважає над натрієм. Особливо багато калію міститься в мозку, печінці, серці та нирках людини (Stantso, Chernenko, 1983).

Наші дослідження впливу зоогенного опадів на формування калію в ґрунті експериментального біотопу виявили більш слабе вираження порівняно із загальною картиною накопичення азоту та фосфору. Подібна тенденція спостерігається в дослідженнях А. В. Домніча – процеси зміни вмісту калію в ґрунті під екскреціями різних видів ратичних у різних умовах виявилися відносно сповільненими порівняно зі змінами в накопиченні азоту та фосфору (Domnich, 2015), але в середньому вміст калію в ґрунті під екскреціями копитних збільшується на 58 % (Domnich, 2014). Під трупами щурів зростання середнього показника вмісту калію превалює над аналогічними показниками проб ґрунту під трупами курчат на *H0* та *H2* ґрунтових горизонтах на 18,7 % і 13,9 % відповідно (рис. 4).

Вміст калію в поверхневому шарі ґрунту (0–10 см) під трупами щурів виявляється в середньому на 23 % вищим порівняно з контролем. У *H1* гґ домінує показник вмісту калію під трупами курчат, що на 24 % вище за аналогічний показник у ґрунті під трупами щурів і на 69,8 % вище за вміст калію в контрольних зразках ґрунту. У *H2* ґрунтовому горизонті середні показники вмісту калію у всіх пробах майже однакові. Слід зазначити, що на цьому ґрунтовому горизонті за контрольний індекс вмісту калію вищим виявився тільки показник вмісту калію під трупами щурів (на 6,8 %). Імовірно, незначне підвищення вмісту калію під трупами тварин зумовлене «моментальним» включенням цього елемента в кругообіг речовин у біотопі.

Висновки

1. За результатами наших досліджень показано, що процес розкладання та утилізації трупів тварин чинить позитивну дію на зниження кислотності ґрунту. Під трупами курчат показники *pH* проб ґрунту з усіх ґрунтових горизонтів мали вищі значення відносно контрольних зразків: у *H0* ґрунтовому горизонті під трупами реакція зростає в середньому на 16,7 %, у *H1* гґ – на 8,4 % та на 6,4 % вище за контроль у *H2* гґ. Отже, найвищий показник *pH* для розкладання трупів курчат реєструється на *H0* ґрунтовому горизонті. За впливу розкладання трупів щурів також спостерігається підвищення реакції ґрунту порівняно з контрольними зразками: у *H0* гґ – на 2,2 % та в

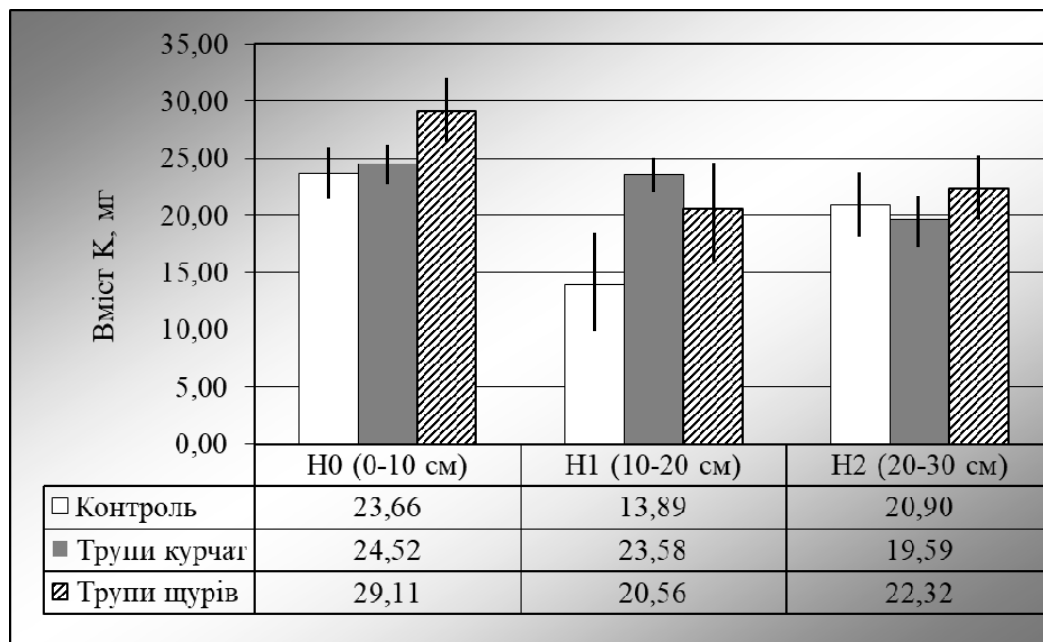


Рис. 4. Вплив зоогенного опаду на вміст калію в ґрунті, мг/100 г ґрунту
Умовні позначення показано на рис. 1.

H2 гґ – на 14,2 % відносно контрольних значень у вказаних ґрунтових горизонтах. На H1 гґ показник реакції ґрунту, навпаки, зменшується в середньому на 10,6 % щодо індексів контролю в цьому шарі ґрунту. Таким чином, максимальне значення *pH* ґрунту (8,51) зареєстроване під трупами щурів у горизонті 20–30 см. Вірогідно, це пов'язано з більш тривалим процесом розкладання трупів щурів порівняно з трупами птахів, з наявністю більшої кількості некроорганіки і, як наслідок, більшим виділенням ексудату в ґрунт.

2. Дослідження впливу зоогенного опаду на вміст азоту в ґрунті виявило зростання кількості азоту в усіх експериментальних зразках ґрунту порівняно з контролем. Контрольні значення вмісту нітрогену поступово знижуються від поверхневих ґрунтових горизонтів до глибинних, а саме: H0 (на 30,0 %) > H1 (на 55,5 %) > H2. Отже, середній вміст азоту в контрольних зразках ґрунту на глибині 20–30 см виявився мінімальним (0,28 мг/100 г ґрунту). Аналогічна тенденція спостерігається в пробах ґрунту під трупами курчат: H0 (на 46,1 %) > H1 (на 43,5 %) > H2. У зразках ґрунту під трупами щурів показники вмісту азоту практично однакові. Найвищий середній показник вмісту азоту зареєстрований на H1 гґ (1,18 мг/100 г ґрунту), що на 87,3 % вище за аналогічний показник у контролі. Високі показники вмісту азоту на H0 ґрунтовому горизонті зареєстровані під трупами курчат (на 42,2 % вище контрольного індексу). На H2 ґрунтовому горизонті (20–30 см) відмічається збільшення цих показників на 39,3 % і на 257 % під трупами курчат і щурів відповідно. А максимальні цифри вказують на зразки ґрунту під трупами курчат у верхньому ґрунтовому горизонті (1,28 мг/100 г ґрунту).

3. Дослідження впливу зоогенного опаду на накопичення фосфору в ґрунті показали максимальне значення фосфору на H0 ґрунтовому горизонті під трупами курчат (6,46 мг/100 г ґрунту); це вище на 107,7 % відносно контрольного показника, але він поступово знижується з верхніх шарів ґрунту до глибинних: H0 (на 47,5 %) > H1 (на 24,1 %) > H2. А в контрольних зразках та в пробах ґрунту під трупами щурів відмічається схожа тенденція – у H0 та H2 гґ показники вмісту фосфору вищі за аналогічні показники у H1 гґ. У цілому простежується тенденція акумуляції фосфору у верхньому ґрунтовому горизонті (0–

10 см) та на глибині 20–30 см, особливо це помітно у зразках ґрунту під трупами щурів (H2 Гґ), де середній показник вмісту фосфору на 75,6 % вищий за контрольний індекс і на 28,4 % вищий за аналогічний показник щодо курчат.

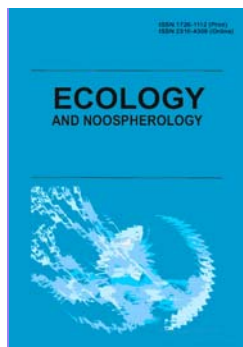
4. За результатами досліджень впливу зоогенного опаду на формування калію в ґрунті експериментального біотопу виявлено: під трупами щурів зростання середнього показника вмісту калію превалює над аналогічними показниками проб ґрунту під трупами курчат на H0 та H2 ґрунтових горизонтах на 18,7 % і 13,9 % відповідно. У H2 ґрунтовому горизонті середні показники вмісту калію у всіх пробах майже однакові – вищим за контрольний індекс він виявився тільки в пробах ґрунту під трупами щурів (на 6,8 %). Таким чином, зоогенний опад – це загальний позитивний фактор у накопиченні азоту, фосфору та калію у ґрунті. Особливо значне накопичення цих елементів для більш глибоких горизонтів (20–30 см), оскільки збільшує їх доступність для коріння чагарників та деревостану, що сприяє формуванню фітоценозу.

5. З'ясовано, що за дії розкладання трупів тварин рівень *pH* ґрунту підвищується. Під трупами курчат *pH* зростає на 6,4–16,7 %, а щурів – на 2,2–14,2 % відносно контрольних значень. Вміст азоту в ґрунті під трупами курчат зростає на 9,5–42,2 %, а під трупами щурів – на 25,5–25,7 %. Вміст фосфору під трупами курчат зростає на 28,4–107,7 %, щурів – на 57,5–75,7 %. Вміст калію в ґрунті під трупами курчат підвищується на 3,63 % до 69,8 %, а під трупами щурів – на 6,8–23,0 %. Отже, зоогенний опад – важливий фактор у накопиченні NPK-комплексу в ґрунті.

References

- Blackith, R. E., Blackith, R. M. (1990). Insect infestations of small corpses. *Journal of Natural History*, 24, 699–709.
- Bulakhov, V. L., Dubina, A. A., Reva, A. A. (1989). Vliyanie myishevidnyih gryzunov na intensivnost razlozheniya podstilki v poymennyih lesnyih biogeotsenozah Prissamariya [Effect of rodents on the intensity of decomposition of litter in the floodplain forest biogeocoenoses of Prissamar'ia]. *Biogeotsenoticheskie issledovaniya lesov tehnogennyih landshaftov stepy Ukrainyi. Dnepropetrovsk*. 162–167 (in Russian).

- Bulakhov, V. L., Gubkin, A. A., Ponomarenko, O. L., Pakhomov, O. Ye. (2008). Biologichne riznomanittia Ukrainy. Dnipropetrovska oblast. Ptakhy (Aves: Non-Passeriformes) [Biological Diversity of Ukraine. The Dnipropetrovsk region. Birds (Aves: Non-Passeriformes)]. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Bulakhov, V. L., Pakhomov, O. Ye. (2000 b). Seredovyshchettivna funktsiia khrebetnykh yak ekolohichniy mekhanizm tryvaloho zhyttia bioheotsenoziv [Environment forming function of vertebrate as ecological mechanism of biogeocoenoses longevity]. Problemy suchasnoi ekolohii. – Zaporizhzhia. 90 (in Ukrainian).
- Bulakhov, V. L., Pakhomov, O. Ye. (2006). Biologichne riznomanittia Ukrainy. Dnipropetrovska oblast. Ssavgtsi (Mammalia) [Biological Diversity of Ukraine. The Dnipropetrovsk region. Mammals (Mammalia)]. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Bulakhov, V. L., Pakhomov, A. E. (2000 a). Sredoobrazuyushchaya deyatel'nost' mlekopitayushchikh kak bioticheskiy mekhanizm v biotekhnologicheskoy protsesse obrazovaniya ekologicheskoy ustoychivosti pochv v usloviyakh tehnogeneza [Environment forming activity of mammals as biotic mechanism in biotechnological process of ecological stability formation of soils in conditions of technogenesis]. Novoe v ekologii i zhiznedeyatel'nosti. Dokl. Mezhdunar. ekol. kongressa. SPb.: BG TU. 2. 523–525 (in Russian).
- Carry, J. (1994). Grassland invertebrates: ecology, influence on soil fertility and effects on plant growth. Chapman and Hall. London, UK. 340–345.
- Cobaugh Kelly, L., Schaeffer Sean, M., De Bruyn Jennifer, M. (2015). Functional and Structural Succession of Soil Microbial Communities below Decomposing Human Cadavers.
- Dillon, L. C. (1997). Insect succession on carrion in three biogeoclimatic zones of British Columbia. Burnaby, BC: Simon Fraser University. 37–42.
- Domnich, A. V. (2014). Izmenenie chislennosti i sredoobrazuyushchaya deyatel'nost' dikikh kopyitnykh na territorii zapovednika v period vosstanovleniya o. Hortitsa [Changes in the number and environment-forming activity of wild ungulates in the reserve during the period of recovery of the island Khortytsya]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu im. V. N. Karazina. Seriya: biologiya. 20(1100). 129–137 (in Russian).
- Domnich, A. V. (2015). Ratychni yak strukturno-funktsionalnyi element ostrivnykh zapovidno-okhoronnykh terytorii pivdennoho skhodu Ukrainy [Ungulates as a structural and functional element of the island reserves and protected areas of southeast Ukraine]. Avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk: spets. 03.00.16 – ekolohiya. Zaporizhzhia (in Ukrainian).
- Early, M., Goff, M. L. (1986). Arthropod succession patterns in exposed carrion on the island of O'ahu, Hawaiian Islands, USA. Journal of Medical Entomology, 23, 520–531.
- Goff, M. L. (2000). A fly for the prosecution: how insect evidence helps solve crimes. Cambridge: Harvard University Press. 225 p.
- Kucheruk, V. V. (2006). Izbrannyye trudy [Selected works]. Moscow (in Russian).
- Lyabzina, S. N. (2003). Bespozvonochnyie-nekrobionty i ih uchastie v utilizatsii organicheskogo veshchestva v nazemnykh i vodnykh ekosistemakh Evropeyskogo severa [Necrobiotic invertebrates and their participation in recycling organic matter in terrestrial and aquatic ecosystems of the European North]. Avtoref. dis. kand. biol. nauk. Petrozavodsk (in Russian).
- Ozerov, A. L. (1988). Nekrobiontnyye dvukrylyye (Diptera) lesov yuga Dalnego Vostoka SSSR [Necrobiotic flies (Diptera) forests south of the Far East of the USSR]. Avtoref. dis. kand. biol. nauk. Moscow (in Russian).
- Ozerov, A. L. (1989). K izucheniyu nekrobiontnykh dvukrylykh Dalnego Vostoka SSSR [To the study of necrobiotic flies of far East USSR]. Nasekomye v ekosistemakh Sibiri i Dalnego Vostoka. Moscow. 110–142 (in Russian).
- Pakhomov, A. E. (1998 a). Biogeotsenoticheskaya rol mlekopitayushchikh v pochvoobrazovatelnykh protsessakh stepnykh lesov Ukrainy [Biogeocenotic role of mammals in the forest steppe soil-forming processes in Ukraine]. Dnepropetrovsk. V. 1 (in Russian).
- Pakhomov, A. E. (1998 b). Biogeotsenoticheskaya rol mlekopitayushchikh v pochvoobrazovatelnykh protsessakh stepnykh lesov Ukrainy [Biogeocenotic role of mammals in the forest steppe soil-forming processes in Ukraine]. Dnepropetrovsk. V. 2 (in Russian).
- Pakhomov, O. Ye., Didur, O. O., Kulbachko, Yu. L., Loza, I. M. (2010). Ekokhimichni aspekty isnuvannia bezkhrabetnykh tvaryn u grunti: metody vyvchennia [Ecological and chemical aspects of invertebrate animals existence in soil: methods of study]. Dnipropetrovsk (in Ukrainian).
- Payne, J. A. (1965). A summer carrion study on the baby pig *Sus scrofa* L. Ecology, 46, 592–602.
- Stantso, V. V., Chernenko, M. B. (1983). Populyarnaya biblioteka khimicheskikh elementov. Kniga pervaya. Vodorod–Palladiy [Popular library of chemical elements. Book One. Hydrogen–Palladium.]. Moscow (in Russian).
- Tantawi, T. I., El-Kady, E. M., Greenberg, B., El-Ghaffar, H. A. (1996). Arthropod succession on exposed rabbit carrion in Alexandria, Egypt. Journal of Medical Entomology, 33, 566–580.



Influence of modeled microgravity on tobacco mosaic virus

N. P. Sus*, A. V. Orlovskiy*, O. A. Boyko**, V. O. Tsvigun*, A. L. Boyko*

*Institute of Agroecology and Environmental Management of NAAS, Kyiv, Ukraine

**National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Article info

Received 17.11.2018

Received in revised form

23.11.2018

Accepted 28.11.2018

Institute of Agroecology
and Environmental Management
of NAAS, Metrolohichna Str., 12,
Kyiv, 03143, Ukraine.
Tel.: +38-099 -158-64-61
E-mail: nazar.sus@gmail.com

National University of Life
and Environmental Sciences
of Ukraine, Heroiv Oborony Str., 13,
Kyiv, 03041, Ukraine.

Sus, N. P., Orlovskiy, A. V., Boyko, O. A., Tsvigun, V. O., & Boyko A. L. (2018). Influence of modeled microgravity on tobacco mosaic virus. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 138–141. doi:10.15421/031822

Clinorotation is an effective method of treating diseases caused by some plant viruses. Therefore, we researched the influence of microgravity (modeled by clinorotation) on a tobacco mosaic virus (TMV) that infects many agricultural crops. It is known that cells of plants (infected with TMV) contain viral inclusion bodies or viroplasm and amount of viral inclusion bodies correlates with harmfulness of TMV. Therefore, the purpose of this study was to find out the effect of influence of modeled microgravity on inclusion bodies of TMV. In this study, we cultivated *Nicotiana tabacum* L. and inoculated them with TMV that was isolated from Norway maple (*Acer platanoides* L.). Then we divided these plants into two groups and cultivated these plants under normal and microgravitation conditions. Microgravity conditions were modeled by clinorotation at 2 rpm for 4 hours a day. This experiment lasted 36 days. Changes of the amount of TMV inclusion bodies in cells of plants that cultivated under normal and microgravitation conditions was investigated by luminescence microscopy. We found that formation of TMV inclusion bodies under microgravitation conditions is first slowed down compared to formation under normal conditions and then their amount quickly decreasing. These results demonstrate the gravisensitivity of TMV. It was suggested hypothesis that this viroplasm pattern caused by the disorganization of cortical microtubule-associated ER sites (C-MERS) that are nodes of cellular transport pathways and nucleation centers of cortical microtubules and cortical microfilaments. It is known that under microgravity conditions there is a disorganization and disorientation of cortical microtubules, which stabilize C-MERS on which TMV viroplasms are formed. Thus, the disorganization and disorientation of cortical microtubules probably causes the disorganization of C-MERS, which leads to a decrease in the number of TMV viroplasms under the influence of microgravity. In this context, it is worth noting that some plant viruses, such as a *Wheat streak mosaic virus* (WSMV), a *Potato virus M* (PVM) and *Potato curly dwarf virus* (PCDV), are gravisensitive. These viruses belong to different taxa, for example WSMV belong to genus *Tritimovirus* (family *Potyviridae*), PVM belong to genus *Carlavirus* (family *Betaflexiviridae*) and PCDV belong to plant rhabdoviruses (uncertain taxonomic position), and differ both structurally and functionally. Therefore, the gravisensitivity of these viruses can occur by other mechanisms. Thus, antiviral therapeutic effect of clinorotation based on gravisensitivity of TMV and can be used in the production of virus-free seeds. To confirm this hypothesis, it is necessary to conduct a systematic review, as well as experimentally establish the fact of the disorganization of the C-MERS under microgravity conditions.

Keywords: TMV (tobacco mosaic virus); clinorotation; microgravity; inclusion bodies; viroplasm; gravisensitivity; cortical MT-associated ER sites

Вплив модельованої мікрогравітації на вірус тютюнової мозаїки

Н. П. Сус*, А. В. Орловський*, О. А. Бойко**, В. О. Цвігун*, А. Л. Бойко*

*Інститут агроєкології і природокористування НААН, Київ, Україна

**Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Виявлено, що утворення внутрішньоклітинних включень ВТМ (вірусу тютюнової мозаїки) в умовах мікрогравітації (модельована кліностатування) спочатку сповільнюється в порівнянні з утворенням в нормальних умовах, а потім їх

кількість швидко зменшується. Ці результати демонструють гравічутливість ВТМ. Відомо, що в мікрогравітаційних умовах спостерігається дезорієнтація кортикальних мікротрубочок, що стабілізують кортикальні мікротрубочко-асоційовані ЕПР-сайти (К-МЕПРС), на яких формуються віроплазми ВТМ. Таким чином, дезорганізація та дезорієнтація кортикальних мікротрубочок, імовірно, спричинює дезорганізацію К-МЕПРС, що обумовлює зменшення кількості віроплазм ВТМ під впливом мікрогравітації. Отже, антивірусний терапевтичний ефект кліностакування базується на гравічутливості ВТМ і може бути використаний при отриманні безвірусного садивного матеріалу. Для підтвердження даної гіпотези необхідно провести метааналіз, а також експериментально встановити факт дезорганізації К-МЕПРС в умовах мікрогравітації.

Ключові слова: вірус тютюнової мозаїки; кліностакування; мікрогравітація; внутрішньоклітинні включення; віроплазма; гравічутливість; кортикальні мікротрубочко-асоційовані ЕПР-сайти

Вступ

Нині кліностакування є одним із найбільш перспективних підходів етіотропної антифітовірусної терапії. Зокрема, встановлено, що в умовах мікрогравітації (змодельованої методом кліностакування), спостерігається значне зменшення титру віріонів щонайменше трьох вірусів, а саме вірусу смугастої мозаїки пшениці, або ВСМП (*Wheat streak mosaic virus, WSMV*) (Mishchenko et al., 1999; Boyko, 2003), М-вірусу картоплі, або МКВ (*Potato virus M, PVM*) (Danilova et al., 2014), вірусу кучерявої карликовості картоплі, або ВККК (*Potato curly dwarf virus, PCDV*) (Didenko et al., 1999). Таким чином, кліностакування може використовуватися як спосіб отримання безвірусного посадкового матеріалу.

У клітинах рослин, що інфіковані вірусом тютюнової мозаїки, або ВТМ (*Tobacco mosaic virus, TMV*), формуються структури, що називаються віроплазмами (внутрішньоклітинними включеннями, тілами включення, Х-тілами, вірусними реплікаційними комплексами), кількість яких, як правило, позитивно корелює з рівнем хвороби (Liu and Nelson, 2013). Згідно з літературними даними віроплазми ВТМ формуються на кортикальних мікротрубочко-асоційованих ЕПР-сайтах, або К-МЕПРС (С-MERS), де відбувається рекрутування мембран і білків хазіяна, які їм необхідні для реплікації і транспорту, а також для доставки вірусних білків руху (БР), віріонів до плазмодесми (Peña and Heinlein, 2013; Heinlein, 2016; Griffing et al., 2016). У цих сайтах сходяться кортикальні мікротрубочки (КМТ), кортикальний ендоплазматичний ретикулум, або ЕПР (ER), та кортикальні мікрофіламенти (Peña and Heinlein, 2013; Heinlein, 2016). Таким чином, К-МЕПРС є стабільними (не динамічними) транспортними вузлами, в яких зустрічаються як мікротрубочковий цитоскелет, так і ЕПР-мікрофіламентна мережа, вздовж якої, як відомо, за допомогою міозину XI-К F-актин-опосередковано пересуваються різні органели (тіла Голджі, пероксисоми, мітохондрії) та зупиняються на К-МЕПРС. Стабільність цих вузлів насамперед забезпечується кортикальними мікротрубочками, або мікрофіламенти, як і ЕПР, є досить динамічними структурами (Peña and Heinlein, 2013; Heinlein, 2016; Ueda et al., 2010). Таким чином, віроплазми є маркером ВТМ-інфекції, а їх кількість є показником ступеня інфекційного процесу. Тому метою нашого дослідження було з'ясувати особливості впливу модельованої мікрогравітації на віроплазми ВТМ.

Матеріали та методи досліджень

У даному дослідженні як модель ВТМ нами було використано ізолят вірусу тютюнової мозаїки, виділений з клена гостролистого (*Acer platanoides* L.) (ВТМ (К)). Патогенетичний процес, що спричинюється даним ізолятом в рослини-хазіяна (*A. platanoides*) та рослин-індикаторів, був нами попередньо описаний (Orlovskiy et al., 2016). Для дослідження гравічутливості ВТМ (К) використовували рослини тютюну *Nicotiana tabacum* L. сорту «Гавана», що були вирощені в стерильних умовах.

Механічну інокуляцію рослин *N. tabacum* проводили очищеними та сконцентрованими препаратами ВТМ (К).

Дослід складався з двох варіантів. У першому варіанті досліді інфіковані рослини вирощували в умовах мікрогравітації, що моделювалася горизонтальним кліностакуванням, за якого вісь росту рослини розміщена горизонтально й збігається з віссю обертання контейнерів. Процес кліностакування тривав 4 години (з частотою обертання 2,0 гмр) й повторювався протягом 36 діб. Для другого варіанта – рослини вирощували в стаціонарних умовах (контрольний варіант). Рослини обох варіантів вирощували при температурі +19 – +23 °С, освітленості – 8–10 тис. лк.

Для виявлення та фіксації віроплазм ВТМ нами готувалися зразки з рослин обох варіантів досліді та використовувався метод люмінесцентної мікроскопії. Фарбування препаратів здійснювали барвником акридиновим оранжевим (Boyko, 2003).

Результати та їх обговорення

Нами було встановлено, що кількість внутрішньоклітинних включень ВТМ у клітинах рослин, що вирощувалися в умовах мікрогравітації, у порівнянні з кількістю віроплазм у клітинах рослин, що вирощувалися в стаціонарних умовах, значно менша. Варто також зазначити, що спершу кількість віроплазм ВТМ у клітинах рослин, що росли в умовах модельованої мікрогравітації, збільшувалася, хоча завжди була меншою, ніж у клітинах рослин, що вирощувалися в стаціонарних умовах. Однак починаючи з 20–24-го дня після початку інфекції спостерігається поступове зменшення внутрішньоклітинних включень (рис. 1).

Окрім даних дослідів нами було виявлено, що ВТМ-контамінованими є соняшник (*Helianthus annuus* L.), хміль (*Humulus lupulus* L.) та печериця (*Agaricus bisporus* (J.E.Lange) Imbach) (останній ізолят переноситься равликом *Helix pomatia* L. (Boyko et al., 2014)). Ці ізоляти є серологічно спорідненими з ВТМ(К) (Boiko et al., 1992) й під впливом мікрогравітації у вищезазначених природних хазіяні спостерігалось зникнення симптомів, що викликали ці ізоляти. Проте дані явища не вивчалися нами на клітинному рівні й потребують подальших досліджень.

Таким чином, віроплазмам ВТМ властива гравічутливість (чутливість до гравітаційного абіотичного фактора). «Гравічутливість» вірусу, на відміну від «гравітропізму», за аналогією з клітинними формами життя є ознакою, яка визначає залежність життєвого циклу вірусу від нормальних гравітаційних умов, а не реагування на гравітаційний абіотичний фактор як на подразник (Korduum, 2009). Слід зазначити, що ВТМ, як і інші віруси, проявляє ознаки життя лише в клітині й віроплазми можна вважати стадією його розвитку. Заразом, згідно з літературними даними, віріонам ВККК, наприклад в умовах *in vitro*, гравічутливість не властива, проте проявляється в умовах *in vivo*. Оскільки для ВТМ(К) у даному дослідженні середовищем першого порядку була сукупність умов у рослинах *N. tabacum*, то середовище другого порядку, тобто мікрогравітаційні умови, впливали, імовірно, на ВТМ(К) опосередковано й чинили

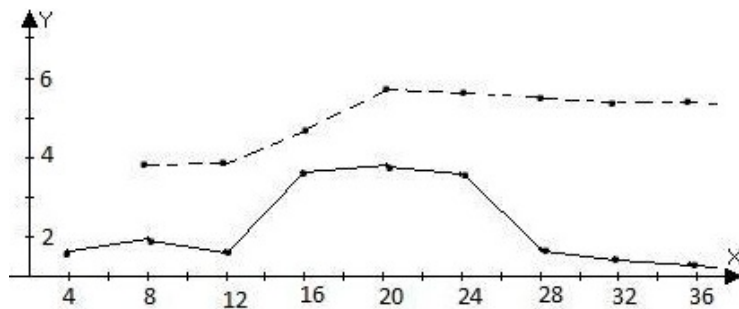


Рис. 1. Залежність кількості віроплазм у клітині від умов вирощування рослин *N. tabacum*, що інфіковані BTM (K) (Y – середня кількість включень із десяти клітин; X – кількість днів; --- – вирощування рослин у стаціонарних умовах; — – вирощування рослин у мікрогравітаційних умовах).

безпосередній вплив на рослину-хазяїна. Таким чином, явище пролонгованого впливу мікрогравітації на внутрішньоклітинні включення пояснюється здатністю рослини-хазяїна адаптуватися до цього абіотичного фактора, тому зміни в клітинах *N. tabacum* виникали поступово й при досягненні певного порогового значення зумовили запізнє зменшення кількості віроплазм BTM (K).

З огляду на патерн змін чисельності віроплазм, що спостерігався нами в цьому дослідженні, ми вважаємо, що основною мішенню впливу мікрогравітації, що є тригером, який запускає певні зміни у функціонуванні клітини-хазяїна, які спричиняють сповільнення формування віроплазм BTM та їх подальше реформування, є дезорганізація кортикальних мікротрубочко-асоційованих ЕПР-сайтів (C-MERS).

Водночас відомо, що процес самоорганізації мікротрубочок є гравітаційно-залежним. Зокрема, відомо, що в клітинах головного кореня шестидобових паростків *Brassica rapa* L., вирощених в умовах модельованої мікрогравітації (здійснювалося горизонтальне кліностагування протягом 6 днів з частотою обертання 2 rpm), КМТ були переривчастими та розміщувалися хаотично в порівнянні з суцільними, паралельно розміщеними й орієнтованими залежно від вектора гравітації КМТ клітин головного кореня паростків, що були вирощені в стаціонарних умовах (Kalinina, 2006). Ці дані були підтверджені також дослідженнями на зародкових коренях *Arabidopsis thaliana* GFP-MAP4 (Bulavin, 2015). В умовах модельованої гіпергравітації виявлено переорієнтацію КМТ й у клітинах надземних органів рослин, наприклад епікотилів *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi et Ohashi (Soga et al., 2006).

Щодо мікрофіламентної (МФ) складової цитоскелету, то варто зазначити, що в умовах мікрогравітації вона здебільшого не зазнає істотних змін в орієнтації (Shevchenko and Kordyum, 2012.). У клітинному кортексі рослин мікрофіламентна та мікротрубочкова складові цитоскелету взаємодіють за посередництва деяких формінів Іе групи. Наприклад, AtFH14 сильніше взаємодіє з мікротрубочками, ніж з мікрофіламентами. Слід також зазначити, що після розбирання кортикальних актинових філаментів вони специфічно відновлюються вздовж кортикальних мікротрубочок і що відновлення масиву актинових філаментів залежить від інтактного масиву мікротрубочок. Окрім AtFH14 до зв'язування мікротрубочок та мікрофіламентів залучені OsFH5 та AtFH4 (Van Gisbergen and Bezanilla, 2013). На відміну від тваринних клітин, у клітинах вищих рослин центросома не є центром організації мікротрубочок (ЦОМТ). Нуклеація кортикальних мікротрубочок відбувається в різних ЦОМТ, що розсіяні по клітинному кортексі та нуклеюють з інших мікротрубочок. Вважається, що К-МЕПРС виконують також роль ЦОМТ для кортикальних мікротрубочок (Heinlein, 2016). З іншого боку, форміни є нуклеаторами

актинових філаментів (Van Gisbergen and Bezanilla, 2013). Таким чином, К-МЕПРС також відбувається нуклеація як кортикальних мікротрубочок, так і кортикальних мікрофіламентів, проте нуклеація актинових філаментів може відбуватися й з інших сайтів за посередництва інших формінів (Van Gisbergen and Bezanilla, 2013). Отже, у разі дезорганізації К-МЕПРС під впливом мікрогравітації нуклеація мікрофіламентів може відбуватися з інших сайтів.

Було продемонстровано збільшення кількості ЕПР-тілець в умовах мікрогравітації, похідних гранулярного ендоплазматичного ретикулуму (гЕПР), у статочитах та клітинах дистальної зони розтягу коренів проростків *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Ступінь цих змін кількості ЕПР-тілець корелював з тривалістю кліностагування. Гетерогенність цих ЕПР-тілець також збільшувалася з тривалістю кліностагування (Romanchuk, 2010). Даний патерн може свідчити про наявність порушень К-МЕПРС, які є частиною транспортного шляху ЕПР-тілець (Peña and Heinlein, 2013; Heinlein, 2016).

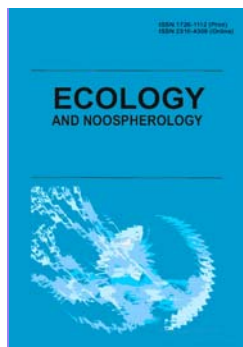
Таким чином, в умовах мікрогравітації, імовірно, відбувається дезорганізація К-МЕПРС, що спричинюється насамперед змінами в мікротрубочковому цитоскелеті, який, як відомо, зумовлює статичність К-МЕПРС. Оскільки наявність К-МЕПРС є обов'язковою умовою як для BTM-інфекції, так і для інших вірусів (обґрунтування даної тези тут: Peña and Heinlein, 2013; Heinlein, 2016; Griffing et al., 2016), то дезорганізація К-МЕПРС унеможливує подальшу BTM-інфекцію. Явище поступового зменшення віроплазм залишається незрозумілим та може бути спричиненим як адаптацією рослини-хазяїна до мікрогравітаційних умов, що зумовлювала пролонговану відповідь, так і власне віроплазмами, які, як відомо, також стабілізують К-МЕПРС (Heinlein, 2016). Отже, для підтвердження цієї гіпотези необхідно провести метааналіз, а також експериментально встановити факт дезорганізації К-МЕПРС в умовах мікрогравітації.

Висновки

Отже, виявлена нами закономірність зменшення внутрішньоклітинних включень під впливом модельованої мікрогравітації свідчить, що вірусу тютюнової мозаїки властива гравічутливість. Ця властивість може бути використана як мішень для направленої BTM-терапії та отримання здорового посадкового матеріалу. Механізм впливу мікрогравітації на BTM, імовірно, включає дезорганізацію кортикальних мікротрубочко-асоційованих ЕПР-сайтів насамперед внаслідок дезорганізації та дезорієнтації кортикальних мікротрубочок, проте для підтвердження цієї гіпотези необхідно провести метааналіз, а також експериментально встановити факт дезорганізації К-МЕПРС в умовах мікрогравітації.

References

- Boyko, A. L. (2003). Osnovy ekolohii ta biofizyky virusiv [Fundamentals of ecology and biophysics of viruses]. Fitosotsiotsentr, Kyiv (in Ukrainian).
- Boiko, O. A., Taranenko, P. K., Bukhalo, A. S. (1992). Virusnaya bolezn shampinona pri intensivnoy tekhnologii ego vyrashchivaniya [Viral disease of agaric under intensive cultivation technology]. Dokl. AN Ukrainy, 8, 159–160 (in Russian).
- Boyko, O., Shevchenko, T., Lukashov, D., Orlovskaya, G. (2014). The Circulation of Phytovirus among Plants and Fungy Involving the Helix Pomatia L. Problemy. Bulletin of Kyiv National Taras Shevchenko University, 17, 69–71.
- Bulavin, I. V. (2015). Hravichutlyvist koreniv, utvorenykh z lystkovykh eksplantiv Arabidopsis thaliana v kulturi in vitro [Gravisensitivity of roots of Arabidopsis thaliana formed in vitro from leaf explants]. The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology, 1, 6–13 (in Ukrainian).
- Danilova, O. I. (2014). Doslidzhennia nespetsyfichnoi stiikosti roslyn pomidora do M- ta Y-virusiv kartopli [Investigation of nonspecific resistance of tomato plants to Potato virus M and Potato virus Y]. Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, 6, 1–11 (in Ukrainian).
- Didenko, L. F., Parkhomenko, N. I., Maksimenko, L. A., Dyachenko, N. S., Zaritskiy, N. M., Kozar, F. E. (1999). Vliyanye klynostatyrovaniya na virus kurchavoi karlykovosty kartofelia in vitro y in vivo [Influence of clinostating on the curly potato dwarf virus in vitro and in vivo]. Kosm. nauka tehnol., 5, 118–122 (in Russian).
- Griffing, L. R., Lin, C., Perico, C., White, R. R., Sparkes, I. (2016). Plant ER geometry and dynamics: biophysical and cytoskeletal control during growth and biotic response. Protoplasma, 254, 43–56.
- Heinlein, M. (2016). Viral Transport and Interaction with the Host Cytoskeleton. In: Kleinow T, ed. Plant-virus interactions: molecular biology, intra- and intercellular transport. Springer International Publishing, Switzerland, 39–67.
- Kalinina, I. M. (2006). Mikrotrubochky v klitynakh epidermisu ta kory korenja Brassica rapa za umov klinostatuvannia [Microtubules in epidermal and cortical root cells of Brassica rapa under clinorotation]. Tsitol Genet., 40, 21–27 (in Ukrainian).
- Korduum, E. L. (2009). Microgravity conditions – experimental basis used for the investigation of a gravity role in the plants' ontogenesis process. Ecology and Noospherology, 20, 20–23.
- Liu, C., Nelson, R. S. (2013). The cell biology of Tobacco mosaic virus replication and movement. Frontiers in Plant Science, 4, 1–10.
- Mishchenko, L. T., Boyko, A. L., Chernyuk, S. O. (1999). Vplyv klinostatuvannia na pokaznyky serolohichnoho analizu virusu smuhastoi mozaiky pshenytsi v roslynakh Triticum aestivum [The influence of microgravitation on characteristics of viruses of striped mosaic wheat in Triticum aestivum]. Biopolym. Cell., 15, 319–323 (in Ukrainian).
- Orlovskiy, A., Moroz, V., Boiko, A. (2016). Skrynnih ta biolohichni vlastyivosti izoliativ VTM (Tobamovirus) na roslynakh platana skhidnoho (Platanus orientalis L.) ta klena hostrolystoho (Acer platanoides L.) [Screening and biological properties of TMV isolates (Tobamovirus) on plants of eastern plane (Platanus orientalis L.) and Norway maple (Acer platanoides L.)]. Agroecological journal, 4, 133–139 (in Ukrainian).
- Peña, E. J., Heinlein, M., 2013. Cortical microtubule-associated ER sites: organization centers of cell polarity and communication. Current Opinion in Plant Biology, 16, 764–773.
- Romanchuk, S. M., 2010. Ultrastructure of statocytes and cells of the distal elongation zone in Arabidopsis thaliana under clinorotation. Cytology and Genetics, 44, 3–8.
- Shevchenko, G. V., Kordyum, E. L., 2012. Ispolzovanie transgennykh rasteniy Arabidopsis thaliana-GFP-ABD2 v eksperimentah po izucheniyu tsitoskeleta v usloviyah modelirovannoy mikrogravitatsii [Application of transgenic Arabidopsis thaliana-GFP-ABD2 plants in experiments for the investigation of cytoskeleton in simulated microgravity]. Kosm. nauka tehnol., 18, 51–56 (in Russian).
- Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., Hoson, T., 2006. Hypergravity induces reorientation of cortical microtubules and modifies growth anisotropy in azuki bean epicotyls. Planta, 224, 1485–1494.
- Ueda, H., Yokota, E., Kutsuna, N., Shimada, T., Tamura, K., Shimmen, T., Hasezawa, S., Dolja, V. V., Hara-Nishimura, I. (2010). Myosin-dependent endoplasmic reticulum motility and F-actin organization in plant cells. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107, 6894–6899.
- Van Gisbergen, P. A. C., Bezanilla, M., 2013. Plant formins: membrane anchors for actin polymerization. Trends in Cell Biology, 23, 227–233.



Modern condition and analysis of anthropogenous-climatic transformation of vegetation of lakes of the Northern Steppe Land

N. O. Roshchyna

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 22.09.2018

Received in revised form
29.09.2018

Accepted 01.10.2018

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.*

Tel.: +38-097-774-43-27

E-mail: botanik_N@ua.fm

Roshchyna, N. O. (2018). Modern condition and analysis of anthropogenous-climatic transformation of vegetation of lakes of the northern Steppe land. *Ecology and Noospherology*, 29(2), 142–148. doi:10.15421/031823

In this article, the current and former distribution of higher aquatic vegetation has been analyzed for floodplain lakes, arenas lakes and third terraces lakes in the valleys of large and medium North-Steppe Dnieper rivers. The article is devoted to the current state analysis of the higher aquatic vegetation at North-Steppe Dnieper lakes, its dynamics over a long-term period, as well as the determination of the nature and extent of anthropogenic-climatic changes in vegetation. Anthropogenic influence is a major threat to the development and functioning of most aquatic ecosystems. Since the twentieth century, it has been intensified by trends to long-term climate changes, which are also largely result of human activity. Increasing temperature of the winter season does not contribute to snow accumulation. Reduction of snow accumulation (frequent thaws during the winter), regulation of river flow (formation of a reservoirs cascade and ponds) and accumulation of melt water in artificial reservoirs led to the smoothing of the peak of the spring flood. Thus, the factor that provided spring washing of floodplain lakes, limited their overgrowing by air-water vegetation and their waterlogging disappeared. The anthropogenic factors that influence negatively include: intensification of agriculture, plowing of coastal areas, unreasonable land reclamation, overgrazing, development of transport and engineering infrastructure, urbanization, recreation, and chemical pollution. The presented data was obtained on the basis of processing our own research materials of 2009–2018 and literary and archival materials analysis (the herbarium of the Dnipropetrovs'k National University and the archive of the Research Institute of Biology). Natural Northern Steppe Dnieper lakes are located mainly in river valleys, so the study area was conventionally divided into sections: the large river valley (Dnieper) and the middle rivers valleys (Samara and Orel). Three ecological groups of macrophytes were reviewed and compared: hydatofites (submerged species), pleistophytes (species with floating leaves) and helophytes (air-water species). The vegetation of Dnieper floodplain lakes practically did not change for all three formation groups. The number of immersed plants communities within the floodplains of medium-sized rivers has decreased by three. The pleistophytes and helophytes associations decreased to fragments of associations. The lakes vegetation within the sandy Dnieper terrace practically did not change for all three formation groups. The submerged lakes plants associations within the sandy medium-sized rivers terraces have been reduced by two. As part of the lakes vegetation on the Dnipro saline terraces, fragments of associations of the two species are considered extinct. A new association of southern adventive species *Ruppia maritima* L. has appeared within the limits of the middle rivers saline terrace. Changes in higher aquatic vegetation are characteristic of all types of lakes. Changes occur in the direction of crowding out higher aquatic vegetation communities by airborne plant communities. The consequence of the anthropogenic-climatic transformation of aquatic ecosystems is increased mineralization, siltation, and, as a result, intensive overgrowing of lakes by aboriginal and adventive species with a wide ecological amplitude (replacement of sensitive to environmental changes species).

Keywords: higher aquatic vegetation; anthropogenic and climatic changes; formations; associations; submerged vegetation; vegetation with floating leaves; air-aquatic vegetation

Сучасний стан та антропогенно-кліматична трансформація рослинності озер Північно-Степового Придніпров'я

Н. О. Рощина

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Дана стаття присвячена аналізу сучасного стану вищої водної рослинності озер Північно-Степового Придніпров'я, її динаміки за багаторічний період, а також визначенню характеру та ступеня її антропогенно-кліматичних змін. Представлені дані отримані на основі обробки матеріалів власних досліджень у 2009–2018 рр. та аналізу літературних та архівних матеріалів (гербарію ДНУ та архіву НДІ біології). Природні озера Північно-Степового Придніпров'я розташовані в основному в долинах річок, тому територію умовно було поділено на ділянки: долину великої ріки (Дніпро) та долини середніх річок (Самара та Оріль). Надано порівняльні дані 3 екологічних груп макрофітів: гідатофітів, плейстофітів, гелофітів. Зміни вищої водної рослинності характерні для озер усіх типів. Вони проходять в цілому у напрямку зміни угруповань вищої водної рослинності угрупованнями повітряно-водних рослин. Результатом антропогенно-кліматичної трансформації водних екосистем є підвищення мінералізації, замулення і, як наслідок, інтенсивне заростання озер аборигенними та адвентивними видами з широкою екологічною амплітудою (заміщення ними видів, чутливих до змін середовища).

Ключові слова: вища водна рослинність; антропогенно-кліматичні зміни; формації; асоціації; занурена рослинність; рослинність з плаваючим листям; повітряно-водна рослинність

Вступ

У проблемі раціонального природокористування особливе місце займає збереження водних ресурсів, у конкретному випадку озерних екосистем. Це питання є особливо актуальним через посушливий клімат степової зони, негативний водний баланс, слабкорозвинуту гідрографічну мережу і недостатню площу водойм та прилеглих територій, на яких формується якість води. Дослідження водойм є одними з найважливіших та пріоритетних в Україні та світі.

У посушливих умовах степової зони дослідження флори, рослинності озер та їх динаміки є важливими з декількох причин. По-перше, водні екосистеми є цінним середовищем існування великої кількості видів живих організмів, у тому числі рідкісних і зникаючих. По-друге, озера є джерелами та резервуарами для збереження та накопичення прісної води. По-третє, водні рослини в своїй більшості є видами космополітними та розповсюджені у подібних екосистемах всього світу, тому такі дослідження дають можливість обміну даними про сучасний флористичний склад та динаміку розповсюдження гідрофітних видів рослин в озерах. До нашого часу дослідженню флори та рослинності озер даного регіону приділялося недостатньо уваги.

Матеріали та методи досліджень

Вища водна рослинність вивчалась з використанням загальноприйнятих геоботанічних (Ramenskij, 1971) і спеціальних гідроботанічних методик (Katanskaya, 1981), зокрема використовувався метод еколого-ценотичного профілювання. Для відбору занурених і плаваючих макрофітів використовувався «рачок-кішка» модифікації А. В. Євдущенко. Сучасні назви рослин надані за зведенням: Mosyakin, Fedorochuk Vascular plants of Ukraine (1999). Рослинні угруповання озерних екосистем описані за домінантною системою. Синтаксономія вищої водної рослинності наводилася за монографією І. Л. Корелякової «Растительность Кременчугского водохранилища» (1977). Матеріал був зібраний протягом 2009–2018 років самостійно та в складі загону біогідроценологів Комплексної експедиції Дніпропетровського університету (Baranovskiy, Voloshina, 2009, 2012; Voloshina, 2014; Roshchyna, 2016, 2017). Вивчення флори та рослинності озер здійснювалося під час маршрутних (воднотранспортних, автотранспортних, пішохідних), стаціонарних (Присамарський біосферний стаціонар) та

напівстаціонарних досліджень (ПЗДО). Проаналізовано сучасне та колишнє розповсюдження вищої водної рослинності озер заплав, арен та третіх терас долин великих та середніх річок Північно-Степового Придніпров'я.

Природні озера Північно-Степового Придніпров'я розташовані в основному в долинах річок, тому територію умовно було поділено на ділянки: долину великої ріки (Дніпро) та долини середніх річок (Самара та Оріль). Сучасні дані отримані в результаті обробки матеріалів власних досліджень водної рослинності озер заплав, других піщаних терас та третіх солончакових терас. Для аналізу динаміки була проведена «реконструкція» існуючої раніше рослинності озер долин Дніпра, Самари та Орелі на основі літературних та архівних матеріалів (гербарію ДНУ та архіву НДІ біології) (Albickaya, 1948; Belgard, 1950; Baranovskiy, 2000, 2002, 2005, 2008, 2017; Tarasov, 2012; Schindler et al., 2016).

Результати та їх обговорення

Залежно від розподілу у водоймах та еколого-біологічних особливостей макрофіти та їх угруповання поділяють на 3 екологічні групи: гідатофіти (занурені рослини, в яких увесь життєвий цикл проходить під водою, а генеративні пагони можуть підвищуватись над поверхнею води); плейстофіти (рослини з плаваючими асиміляційними органами, більша частина вегетативних пагонів і листків плаває на поверхні води); гелофіти (повітряно-водні рослини з пагонами, частина яких знаходиться у воді, а частина – над поверхнею) (Katanskaya, 1981; Korelyakova, 1977; Dubyna et al., 1993).

Склад вищої водної рослинності озер залежить від багатьох екологічних факторів. Серед них можна виділити дві групи: глобальні та місцеві. До глобальних відносяться кліматичні зміни (температура, опади) та антропогенні (створення водосховищ, зміни ландшафту, атмосферне забруднення і т.д.). До місцевих належать мікрокліматичні та антропогенні фактори конкретного водного середовища (світло, температура, газовий та сольовий склад, вміст органічних речовин, рН та ін.).

Загальними рисами глобальних змін клімату є підвищення середніх сезонних температур та збільшення аридності, зокрема в Європі (Dai, 2013; Linder et al., 2014), що особливо небезпечно для екосистем таких посушливих регіонів, як степова зона України. Взагалі підвищення температур відбувається в усьому світі, і цій проблемі приділяє увагу велика кількість вчених, зокрема, створеної

в 1988 р. Міжурядової групи експертів зі змін клімату. У IV доповіді, оприлюдненій у 2007 р., зазначено, що протягом столітнього періоду (1906–2005 рр.) глобальна температура зросла на 0,74 °С. Причому в Європі підвищення виявилось майже в півтора рази більшим. За прогнозами Міжурядової групи експертів, у ХХІ ст. підвищення температури повинно продовжитися.

Річна кількість опадів у регіоні має тенденцію до збільшення. За 50 років збільшення опадів за різними метеостанціями становить від 35 до 107 мм, у середньому по області – 74 мм. У зв'язку з частими відлигами впродовж зим спостерігається по декілька разів утворення і схід снігового покриву. Зменшення снігонакопичення не сприяє весняному промиванню водойм, яке раніше обмежувало заростання заплавних озер повітряно-водною рослинністю та їх заболочуванню.

Головний фактор загрози розвитку та функціонуванню більшості водних екосистем – антропогенний вплив, який із ХХ ст. посилюється тенденцією до багаторічних змін клімату (Settele et al., 2014), які значною мірою теж є наслідком людської діяльності.

До антропогенних факторів, що впливають негативно, можна віднести: інтенсифікацію сільського господарювання: розорювання прибережних територій, необґрунтовану меліорацію земель, надмірний випас, розбудову транспортної та інженерної інфраструктури, урбанізацію, рекреацію, хімічне забруднення.

Особливо велике значення мало утворення каскаду водосховищ та ставків. У результаті зарегулювання та

накопичення талої води в штучних водоймах відбулося згладжування піку весняної повені, яке забезпечувало весняне промивання заплавних озер.

Підвищення температури весняного та осіннього сезону призводить до пролонгації вегетаційного періоду, а літнього – до більш активного випаровування і зниження рівня води. Усе це викликає інтенсивне заростання повітряно-водною рослинністю.

Підвищення температури зимнього сезону не сприяє снігонакопиченню. Зменшення снігонакопичення (часті відлиги впродовж зим), зарегулювання річкового стоку (утворення каскаду водосховищ та ставків) та накопичення талої води в штучних водоймах спричинило згладжування піку весняної повені. Таким чином, зник єдиний фактор, який забезпечував весняне промивання та обмежував заростання заплавних озер повітряно-водною рослинністю та їх заболочування.

Рослинність заплавних водойм була представлена найбільш різноманітними формами внаслідок впливу трьох позитивних факторів: короточасного впливу паводку (підвищення та зменшення рівня води), обводнення та опріснення їх талими водами, а також збагачення під час паводку алохтонними поживними речовинами.

Кліматичні фактори в сукупності з антропогенними здійснюють синергічну дію. Вона призводить до змін, що проходять в цілому в напрямку заміни угруповань вищої водної рослинності угрупованнями повітряно-водних рослин (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація та багаторічні зміни рослинності озер Північно-Степового Придніпров'я

Класифікаційна система рослинності озер Північно- Степового Придніпров'я	Озера долини Дніпра						Озера долин середніх річок (Самара та Оріль)					
	Озера заплави		Озера другої піщаної тераси		Озера третьої тераси		Озера заплави		Озера других піщаних терас		Озера третіх терас	
	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТИП ВОДНА РОСЛИННІСТЬ – AQIHERBOSA												
Група формацій зануреної рослинності – гідатофітів AQUHERBOSA IMMERSA												
Формація Potamogetoneta crispi												
Асоціація												
Potamogetoneta subpurum	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.
Формація Potamogetoneta lucentis												
Асоціація												
Potamogetoneta subpurum	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.		
Формація Potamogetoneta pectinati												
Асоціація												
Potamogetoneta subpurum	ас.	ас.			ф.ас.		ф.ас.	ф.ас.				
Формація Potamogetoneta perfoliati												
Асоціація												
Potamogetoneta subpurum		ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.				
Асоціація Potamogetoneta perfoliati potamogetonosum		ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.				
Асоціація		ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.				
Potamogetoneta aquiherbosum												

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Формация Myriophylleta spicati												
Асоціація Myriophylletum subpurum	ac.	ac.					ф.ас.	ф.ас.				
Формация Ceratophylleta demersi												
Асоціація Ceratophylletum subpurum	ac.	ac.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ac.	ac.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.
Асоціація Ceratophylletum aquiherbosum	ac.	ac.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ac.	ac.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.
Формация Ceratophylleta pentacanthi												
Асоціація Ceratophylletum subpurum							ф.ас.	ф.ас.				
Формация Ceratophylleta submersi												
Асоціація Ceratophylletum subpurum	ф.ас.	ф.ас.						ф.ас.				
Формация Ceratophylleta tanaitici												
Асоціація Ceratophylletum subpurum							ф.ас.	ф.ас.				
Формация Aldrovandeta vesiculosi												
Асоціація Aldrovandetum subpurum							ф.ас.		ф.ас.			
Формация Batrachieta circinati												
Асоціація Batrachium subpurum	ac.	ac.					ac.	ac.				
Формация Batrachieta trichophyllum												
Асоціація Batrachium subpurum	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.
Формация Hottonieta palustris												
Асоціація Hottonietum subpurum									ф.ас.	ф.ас.		
Формация Elodeeta canadensis												
Асоціація Elodeetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.										
Формация Stratioteta aloides												
Асоціація Stratiotetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.					ac.	ac.		
Формация Vallisnerieta spiralis												
Асоціація Vallisnerietum subpurum		ac.										
Формация Ruppieta maritimi												
Асоціація Ruppium subpurum												ac.
Формация Lemneta trisulci												
Асоціація Lemnetum subpurum	ac.	ac.			ф.ас.		ф.ас.					
Формация Aldrovandeta vesiculosi												
Асоціація Aldrovandetum subpurum							ф.ас.		ф.ас.			
Формация Riccieta fluitanti												
Асоціація Riccium subpurum	ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.	ac.	ac.		
Формация Utricularieta vulgaris												
Utricularietum subpurum			ac.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ac.	ac.		
Формация Zannicheliaceta palustris												
Zannichelietum subpurum											ф.ас.	ф.ас.
Група формацій рослинності з плаваючим листям – плейстофітів												
AQUIHERBOSA NATANTIA												
Формация Nuphareta lutei												
Асоціація Nupharetum subpurum	ac.	ac.	ф.ас.	ф.ас.			ac.	ac.				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Асоціація Nupharetum aquiherbosum	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.			ас.	ас.				
Формация Nuphaeeta albe												
Асоціація Nuphaetum subpurum	ас.	ас.	ас.	ас.			ас.	ас.	ас.	ас.		
Асоціація Nuphaetum aquiherbosum	ас.	ас.	ас.	ас.			ас.	ас.	ас.	ас.		
Формация Trapeta borysthenice												
Асоціація Trapetum subpurum	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.								
Асоціація Trapetum aquiherbosum	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.								
Формация Potamogetoneta graminnei												
Асоціація Potamogetoneta subpurum	ф.ас.	ф.ас.										
Формация Potamogetoneta natantis												
Асоціація Potamogetoneta subpurum	ас.	ас.					ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация Salvinieta natanti												
Асоціація Salvinietum subpurum	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация Hydrocharieta morsus-ranae												
Асоціація Hydrocharietum subpurum	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация Lemneta minoris												
Асоціація Lemnetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация Spirodeleta polirrhysi												
Асоціація Spirodeletum subpurum	ас.	ас.										
Формация Wolffieta arrhizi												
Асоціація Wolffietum subpurum	ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.				
Група формацій повітряно-водної рослинності – гелофітів												
AQUIHERBOSA AMPHIBIA												
Формация Typheta angustifoli												
Асоціація Typhetum subpurum	ас.	ас.	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.
Формация Typheta latifoli												
Асоціація Typhetum subpurum	ас.	ас.	ф.ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.
Формация Typheta laxmanni												
Асоціація Typhetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.										
Формация Alismeta plantago-aquatici												
Асоціація Alismetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.				
Формация Sagittarieta sagittifoliae												
Асоціація Sagittarietum subpurum	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация Butometa umbellati												
Асоціація Butometum subpurum							ф.ас.	ф.ас.				
Формация Bolboschoeneta maritimi												
Асоціація Bolboschoenetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.
Формация Cariceta acutae												
Асоціація Caricetum subpurum	ф.ас.	ф.ас.										

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Формация <i>Cariceta ripari</i>													
Асоціація <i>Caricetum subpurum</i>		ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация <i>Scirpeta lacustri</i>													
Асоціація <i>Scirpus subpurum</i>		ас.	ас.	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация <i>Scirpeta tabernaemontani</i>													
Асоціація <i>Scirpus subpurum</i>						ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.
Формация <i>Glycerieta maximae</i>													
Асоціація <i>Glycerietum subpurum</i>		ф.ас.	ф.ас.					ф.ас.	ф.ас.				
Формация <i>Phragmiteta australis</i>													
Асоціація <i>Phragmitetum subpurum</i>		ас.	ас.	ас.	ас.	ф.ас.	ф.ас.	ас.	ас.	ас.	ас.	ас.	ас.
Формация <i>Zizanieta latifoli</i>													
Асоціація <i>Zizanietum subpurum</i>			ф.ас.										
Формация <i>Sparganieta erecti</i>													
Асоціація <i>Sparganietum subpurum</i>		ас.	ас.					ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация <i>Rorippeta amphibia</i>													
Асоціація <i>Rorippetum subpurum</i>		ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.			ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.	ф.ас.		
Формация <i>Callitricheta palustris</i>													
Асоціація <i>Callitrichetum subpurum</i>		ф.ас.	ф.ас.										

Умовні позначення: ас. – асоціація, ф.ас. – фрагмент асоціації.

Рослинність озер у межах заплави Дніпра практично не змінилася для всіх трьох груп формацій (табл. 2). Кількість угруповань занурених рослин озер у межах заплави середніх річок скоротилася на 3 асоціації. Асоціації плейстофітів та гелофітів зменшилися в кількості або залишилися фрагментарно.

Рослинність озер у межах арени Дніпра практично не змінилася для всіх трьох груп формацій. Кількість асоціацій занурених рослин озер у межах арен середніх річок скоротилася на 2, а угруповання плейстофітів та гелофітів перейшли до рівня їх фрагментів.

Таблиця 2

Динаміка кількості асоціацій та фрагментів асоціацій

Асоціації та фрагменти асоціацій	Озера долини Дніпра						Озера долин середніх річок (Самара та Оріль)					
	Озера заплави		Озера другої піщаної тераси		Озера третьої тераси		Озера заплави		Озера других піщаних терас		Озера третіх терас	
	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.	Кінець 19 ст. – перша ½ 20 ст.	Друга ½ 20 ст. – початок 21 ст.
Асоціації гідратофітів	6	7	1	–	–	–	3	3	3	3	–	1
Фрагменти асоціацій гідратофітів	10	10	7	8	6	4	13	11	6	4	5	5
Асоціації плейстофітів	9	9	2	2	–	–	6	5	2	–	–	–
Фрагменти асоціацій плейстофітів	4	4	7	7	–	–	3	4	4	–	–	–
Асоціації гелофітів	5	5	3	4	–	–	3	2	1	1	1	1
Фрагменти асоціацій гелофітів	9	10	5	4	6	6	9	10	8	8	4	4

У складі рослинності озер третьої тераси Дніпра фрагменти асоціацій двох видів вважаються зниклими. Кількість асоціацій занурених рослин озер третіх терас

середніх річок збільшилася на одну за рахунок ценозів адвентивного південного виду *Ruppia maritima*.

Висновки

Головний фактор загрози розвитку та функціонуванню більшості водних екосистем – антропогенний вплив, який із ХХ століття посилюється тенденціями до багаторічних змін клімату, які значною мірою тяж є наслідком людської діяльності.

Підвищення температури зимнього сезону не сприяє снігонакопиченню. Зменшення снігонакопичення (часті відлиги впродовж зим), зарегулювання річкового стоку (утворення каскаду водосховищ та ставків) та накопичення талої води у штучних водоймах спричинило згладжування піку весняної повені як фактору, який забезпечував весняне промивання та обмежував заростання заплавлених озер повітряно-водною рослинністю та їх заболочування.

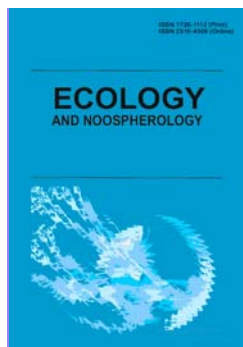
Рослинність озер у межах заплави Дніпра практично не змінилася для всіх трьох груп формацій. Кількість угруповань занурених рослин озер у межах заплавлених середніх річок скоротилася на 3. Асоціації плейстофітів та гелофітів перейшли з рівня асоціацій до рівня їх фрагментів. Рослинність озер в межах ариї Дніпра практично не змінилася для всіх трьох груп формацій. Асоціації занурених рослин озер в межах ариї середніх річок скоротилася на 2. У складі рослинності озер третьої тераси Дніпра фрагменти асоціацій двох видів вважаються зниклими. В межах третіх терас середніх річок з'явилася нова асоціація адвентивного південного виду *Ruppia maritima* L.

Зміни вищої водної рослинності характерні для озер усіх типів. Кліматичні фактори в сукупності з антропогенними здійснюють синергічну дію, яка призводить до незворотних змін у заростанні озер. Основними результатами такої трансформації водних екосистем на основі змін їх абіотичної та біотичної складової є поступове підвищення мінералізації, замулення і, як наслідок, інтенсивне заростання озер аборигенними та адвентивними видами з широкою екологічною амплітудою (заміщення ними видів, чутливих до змін середовища).

References

- Albickaya, M. A. (1948). Opyt floristicheskogo analiza prisamarskih aren [Experience floristic analysis of prisamarias arenas]. Dnepropetrovsk. Nauchnye zapiski. Sbornik rabot biologicheskogo fakulteta, 27–40 (in Russian).
- Baranovskyi, B. A. (2000). Rastitel'nost' ruslovogo ravninnogo vodohranilishha [Vegetation of the channel of the plain reservoir]. Dnepropetrovsk (in Russian).
- Baranovskyi, B. A. (2002). Flora vodoemov basseyna r. Samary [Flora reservoirs of Samara River Basin]. Pytannya stepovoho lisoznavstva ta lisovoyi rekultyvatsiyi zemel, 31, 90–103 (in Russian).
- Baranovskyi, B. A. (2005). Rastytelnost' poymennykh vodoemov Prysamarya dneprovskoho [The vegetation of floodplain reservoirs Prysamarya Dnieper]. Pytannya stepovoho lisoznavstva ta lisovoyi rekultyvatsiyi zemel, 34, 90–94 (in Russian).
- Baranovskyi, B. O. (2008). Analiz florystychnoho riznomanittya richkovykh dolyn Prysamarya na suchasnomu etapi doslidzhen [Analysis of floristic diversity river valleys Prysamarya at the current stage of research]. Pytannya stepovoho lisoznavstva, 37, 91–94 (in Ukrainian).
- Baranovskyi, B. O., Manjuk, V. V., Ivan'ko, I. A., Karmyzova, L. O. (2017). Analiz flori nacional'nogo prirodnogo parku

- «Oril'skij» [Analysis of the Flora of the National Natural Park «Orel'skiy»]. LIRA, Dnipro (in Ukrainian).
- Baranovskyi, B. O., Voloshina, N. O., Karmyzova, L. A. (2009). Mnogoletnyaya dinamika gigrofilnoj flory pojmy Dnepra v predelah Dnepropetrovskoj oblasti [Perennial dynamics of hygrophilic flora of the Dnieper floodplain within the Dnepropetrovsk region]. Kremenichuk (in Russian).
- Baranovskyi, B. O., Voloshina, N. O. (2012). Analiz adventivnoyi flori vodojm Dnepropetrovshini [An analysis of the Dnepropetrovsk reservoirs adventitious flora]. Pereyaslav-Hmel'nickij (in Ukrainian).
- Belgard, A. L. (1950). Lesnaya rastitelnost' yugo-vostoka USSR [Forest vegetation of southeast Ukrainian SSR]. KSU, Kiev (in Russian).
- Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, 3, 52–58.
- Dubyna, D. V., Gejny, S., Groudova, Z. (1993). Makrofity – indikatory izmenenij prirodnoj sredy [Macrophytes are indicators of changes in the natural environment]. Kiev (in Russian).
- Katanskaya, V. M. (1981). Vysshaya vodnaya rastitelnost' kontinentalnykh vodoemov SSSR [Higher aquatic vegetation of continental waters of the USSR]. Leningrad (in Russian).
- Korelyakova, I. L. (1977). Rastitelnost' Kremenchugskogo vodohranilisha [Vegetation of the Kremenchug reservoir]. Kiev (in Russian).
- Linder, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, C., Delzon, S. (2014). Climate change and European forests: What do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? Journal of Environmental Management, 146, 69–83.
- Mosyakin, S. L., Fedoronchuk, M. M. (1999). Vascular plants of Ukraine (Nomenclatural checklist). Naukova dumka, Kyiv, 346 p.
- Ramenskij, L. G. (1971). Problemy i metody izucheniya rastitelnogo pokrova. Izbrannye raboty [Problems and methods of studying vegetation. Selected works]. Leningrad (in Russian).
- Roshchyna, N. O. (2016). Florocenotichne riznomanittya ozer Prisar'mar'ya u porivnyanni zi shturnimi vodojmami [Florocenotic diversity of the Prysamaria lakes in comparison with artificial reservoirs]. Pitannya stepovoho lisoznavstva ta lisovoyi rekultyvatsiyi zemel. DNU, Dnipro (in Ukrainian).
- Roshchyna, N. O. (2017). Floristichne riznomanittya ozer Nacional'nogo prirodnogo parku «Oril'skij» [Floral diversity of the Oril'skiy National Nature Park lakes]. Kyiv (in Ukrainian).
- Schindler, S., O'Neill, F. H., Biró, V., Damm, C., Gasso, V., Kanka, R. (2016). Multifunctional floodplain management and biodiversity effects: a knowledge synthesis for six European countries. Biodiversity and Conservation, 25, 1349–1382.
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R. (2014). Terrestrial and inland water systems. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Cambridge: Cambridge University Press, 271–359.
- Tarasov, V. V. (2012). Flora Dnepropetrovskoy ta Zaporizkoy oblastey [Dnepropetrovsk and Zaporizhia regions flora]. DNU, Lira, Dnepropetrovsk (in Ukrainian).
- Voloshina, N. O. (2014). Porivnyal'nij analiz flori ozer dolini Samari v rajoni Prisar'marskogo biosfernogo stacionaru [Comparative analysis of the Samaras valley lakes flora near the Prysamarsky Biosphere Reserve]. Kharkiv (in Ukrainian).



ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 29(2)

Table of Contents

<i>Morozko, A. P., Leshchenko, O. Y., Kolesnichenko, O. V., Lykholat, Y. V., Zemnianska, M., Bidolakh, D. I., & Tsarenko, O. N.</i>	
Peculiarities of introduction of <i>Araliaceae</i> Juss. in botanical gardens (Kyiv, Ukraine)	63
<i>Chorna, V. I., Wagner, I. V., & Katsevych, V. V.</i>	
Ecological features of enzyme activity distribution in edaphotops of technogenic landscapes	71
<i>Chayka, O. M., & Peretyatko, T. B.</i>	
The reduction of hexavalent chromium and nitrates by <i>Desulfuromonas</i> YSDS-3, isolated from the soil of Yasiv sulfur mine	76
<i>Gorban, V. A.</i>	
Diagnostic role of soil physical properties of forest biogeocoenoses of the Ukrainian steppe zone	83
<i>Loza, I. M., & Pakhomov, O. Y.</i>	
Environmental evaluation of remediated lands quality of manganese quarry lands (Zaporizhsky and Olexandrovsky opencast workings) on humus content and salinity	89
<i>Masiuk, O. M.</i>	
Dynamics of grass stand formation in poplar plantations on different types of reclamations of disturbed lands of Western Donbass	97
<i>Tyulkova, E. G., & Avdashkova, L. P.</i>	
The method of determining the plants phytoindicator traits adaptive changes coefficient	104
<i>Yakovenko, V. M., & Kotovich, A. V.</i>	
Diagnostics of lithic discontinuity of soils based on fractal properties of coarse/fine- related distribution	111
<i>Yusypiva, T. I.</i>	
Bioecological analysis of <i>Picea pungens</i> needles in the deterioral conditions of the DTEK Prydniprovsk thermal power plant	119
<i>Pokhylenko, A. P., & Didur, O. O.</i>	
Analysis of morphological features connections in representatives of saprophages (case study <i>Rossiulus kessleri</i> (Lohmander, 1927)	125
<i>Shulman, M. V., & Pakhomov, O. Y.</i>	
Effect of zoogenic litter on soil's chemical properties in forest biogeocoenoses of steppe Prydniprovnia	131
<i>Sus, N. P., Orlovskiy, A. V., Boyko, O. A., Tsvigun, V. O., & Boyko A. L.</i>	
Influence of modeled microgravity on tobacco mosaic virus	138
<i>Roshchyna, N. O.</i>	
Modern condition and analysis of anthropogenous-climatic transformation of vegetation of lakes of the northern Steppe land	142