ISSN 2410-0943

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

Засновано у 1998 р.
Зареєстровано з новою назвою у 2021 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24765-14705Р від 25.03.2021 р.

Acta Biologica Ukrainica

Адреса редакції:
вул. Жуковського 66, корп. 1, ауд. 216,
м. Запоріжжя, Україна, 69060

Телефон
для довідок:
+38 066 53 57 687

№ 1, 2024

Видавничий дім
«Гельветика»
2024

DOI Acta Biologica Ukrainica: https://doi.org/10.26661
DOI № 1/2024 https://doi.org/10.26661/2410-0943-2024-1

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 886 від 02.07.2020 р. (додаток 4) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» у галузі біологічних наук (091 – Біологія, 101 – Екологія).
До 25 березня 2021 р. журнал виходив під назвою «Вісник Запорізького національного університету. Біологічні науки».
У зв'язку зі зміною назви журналу було внесено відповідні зміни до Переліку наукових фахових видань України на підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 735 від 29.06.2021 р. (додаток 3).

Журнал індексується в міжнародній наукометричній базі даних Index Copernicus.

РЕДАКЦІЙНА РАДА:

Головний редактор

Сарабєєв В.Л. – кандидат біологічних наук, доцент, доктор габілітований (Франція), Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)

Заступники головного редактора, відповідальні за наукові напрями:

Амінов Р.Ф. – кандидат біологічних наук, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)
Бражко О.А. – доктор біологічних наук, професор, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)
Дворщенко К. О. – доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету ім. Т. Шевченко (Київ, Україна)
Домбровський К.О. – кандидат біологічних наук, доцент, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)
Кружиліна С.В. – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник Інституту рибного господарства НААН України (Київ, Україна)
Лях В.О. – доктор біологічних наук, професор, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)
Межжерін С.В. – доктор біологічних наук, професор Інституту зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАНУ (Київ, Україна)
Христенко Д.С. – кандидат біологічних наук, доцент Національного університету біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна)
Фролов О.К. – доктор медичних наук, професор, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)

Члени редакційної колегії журналу:

Корнет М.М. – кандидат біологічних наук, доцент, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)
Швець В.М. – доктор біологічних наук, доцент, Запорізький державний медичний університет (Запоріжжя, Україна)
Омельянчик Л.О. – доктор фармацевтичних наук, професор, Запорізький національний університет (Запоріжжя, Україна)
Попеску К.Г. – доктор філософських наук, доцент, Університет Питешті (Питешті, Румунія)
Бальбуена Х. А. – доктор філософії Інституту біорізноманіття та еволюційної біології ім. Каванійєс Університету Валенсії (Валенсія, Іспанія)
Рубцова Н.Ю. – кандидат біологічних наук, доцент, Інститут паразитарних захворювань, Центр паразитології, Inc (PCI) (Скоттсдейл, США)

Відповідальний редактор: Задорожня В. Ю. – канд. біол. наук, Запорізький національний університет (Україна)

ISSN 2410-0943 © Запорізький національний університет, 2024

ЗМІСТ

МІНЛИВІСТЬ МОРФОЛОГІЧНИХ ОЗНАК ВЕГЕТАТИВНИХ ОРГАНІВ ВИДІВ РОДІВ *FESTUCA L., MISCANTHUS* ANDERSS. ПРИ ІНТРОДУКЦІЇ В СТЕПОВУ ЗОНУ УКРАЇНИ.....5
Зубровська О. М.

HERBACEOUS PLANTS AS HEAVY METALS ACCUMULATORS IN CONDITIONS OF ASH AND SLAG DUMPS.....13
Semak U. Y., Mylenka M. M.

CONTENTS

MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE VARIABILITY OF VEGETATIVE ORGANS OF SPECIES OF THE GENERA *FESTUCA L., MISCANTHUS* ANDERSS. INTRODUCED INTO THE STEPPE ZONE OF UKRAINE..... 5
Zubrovska O. M.

HERBACEOUS PLANTS AS HEAVY METALS ACCUMULATORS IN CONDITIONS OF ASH AND SLAG DUMPS.....13
Semak U. Y., Mylenka M. M.

УДК 581.4:582.542.1(477.63)
DOI https://doi.org/10.26661/2410-0943-2024-1-01

Мінливість морфологічних ознак вегетативних органів видів родів *Festuca L., Miscanthus* Anderss. при інтродукції в степову зону України

Зубровська О. М.
Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України
zubrovska@ukr.net

Ключові слова: *Poaceae Barnhart, фенологія, морфологія листка, сезонний розвиток.*

В умовах постійних кліматичних аномалій та швидких змін навколишнього середовища необхідна розробка заходів із упередження й нівелювання близьких і віддалених їх наслідків для біорізноманіття. Це викликає необхідність вивчення перебудов різного рівня розвитку в аборигенних та інтродукованих трав'янистих багаторічників, які зростають в колекціях ботанічних садів. У статті наведено еколого-біологічні особливості розвитку видів родин Poaceae Barnhart та мінливість морфологічних ознак їх асиміляційних органів в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України (степова зона України). Встановлено, що *Festuca cinerea* і *Miskantus sinensis*, які зростають на території саду значний час, добре пристосовуються до ґрунтово-кліматичних умов району інтродукції, проходять повний цикл розвитку і відзначаються високою декоративністю. Міскантус характеризувався середнім весняним відростанням і розтягнутими фенофазами, тоді як костриця – раннім весняним відростанням зі швидкими темпами розвитку. За життєвою формою обидва види щільнокущові трав'янисті полікарпіки, гемікриптофіти. Доведено, що рослини *F. cinerea* за останні 15 років достовірно не змінили ритми розвитку, хоча цвісти починали на 15 діб раніше, ніж в природних ареалах України. У *M. sinensis* на 35–40 діб збільшився вегетаційний період (за рахунок відносно теплої осені та зими). Порівняно з показниками природних місцезростань в умовах інтродукції рослини *M. sinensis* формували в 1,5–1,7 раза коротші пагони, тоді як ростові параметри *F. cinerea* залишалися незмінними. З'ясовано, що довготривала посуха у серпні-вересні 2023 р. впливала на скорочення загальної площі листка на 11% у *M. sinensis* та 16% у *F. cinerea* внаслідок зменшення його ширини. Очевидно, більш значні зміни в морфології листка *F. cinerea* свідчать про здатність виду краще пристосовуватися до зміни сезонних кліматичних умов через прояв ксероморфних ознак.
Ключові слова: *Poaceae Barnhart, фенологія, морфологія листка, сезонний розвиток.*

Morphological features of the variability of vegetative organs of species of the genera *Festuca L., Miscanthus* Anderss. introduced into the steppe zone of Ukraine

Zubrovska O. M.
Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine
zubrovska@ukr.net

Key words: *Poaceae Barnhart, phenology, leaf morphology, seasonal development.*

Given the ongoing climate anomalies and rapid environmental changes, it becomes crucial to develop strategies aimed at averting and mitigating their immediate and long-term impacts on biodiversity. This highlights the need to investigate the rearrangements occurring across diverse developmental stages among native and introduced herbaceous perennials cultivated within botanical garden collections. The article presents the ecological and biological pecularities of the development of species of the family Poaceae Barnhart and the morphological features of the variability of their assimilation organs in the conditions of the Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine (steppe zone of Ukraine). *F. cinerea* and *M. sinensis* grow in the garden for a long time. It has been established that they adapt well to the soil and climatic conditions of introduction, go through a full cycle of development and are characterized by high decorativeness. *M. sinensis* had an average spring regrowth and extended phenophases. *F. cinerea* had an early spring regrowth and a rapid development rate. It has been proven that *F. cinerea* plants have not reliably changed their development rhythms over the past 15 years, although they began to bloom 15 days earlier than in the natural habitats of Ukraine. Whereas the vegetation period in *M. sinensis* increased by 35-40 days. Under the conditions of introduction, *M. sinensis* plants formed 1.5-1.7 times shorter shoots compared to natural habitats, while the growth parameters of *F. cinerea* remained unchanged. Prolonged drought in August-September 2023 affected the reduction of the total leaf area by 11% in *M. sinensis* and 16% in *F. cinerea* due to a reduction in its width. Obviously, notable changes in the morphology of the leaf of *F. cinerea* indicate the ability of the species to better adapt to seasonal climatic conditions at the expense of the manifestation of xeromorphic features.
Key words: *Poaceae Barnhart, phenology, leaf morphology, seasonal development.*

Вступ

Загрози, пов'язані зі змінами клімату, погіршенням екологічної ситуації і зменшенням біорізноманіття в останні роки перейшли до розряду глобальних та визначають екологічну безпеку навколишнього середовища[1,2]. Динаміка кліматичних змін в Україні значною мірою повторює таку на глобальному рівні, а їх істотніший прояв фіксується у степовій зоні, яка займає 40% площі країни і є найбільш антропогенно трансформованою[3]. За умов швидких змін клімату, постійних кліматичних аномалій, їх тривалості і сили впливу на довкілля відбуваються фенотипічні зміни морфологічної будови органів рослин, їх анатомічної структури та окремих фізіологічних процесів[1,4]. Характер таких перебудов, особливо у рослин, які здатні переносити довготривалі посухи, поки що мало досліджений на деградованих і техногенно змінених територіях Правобережного Степу України, хоча актуальність їх вивчення, у якості механізмів адаптації інтродуцентів до різних умов вирощування, підкреслюється у статті 12 Конвенції з біорізноманіття[5]. Різнобічне дослідження біології рослин на регіональному рівні дозволить розробити шляхи підвищення рівня життєвості рослин та прогнозувати розширення фіторізноманіття за рахунок нових швидкозростаючих, декоративних, толерантних до абіотичних чинників видів і культиварів. За даними дослідження стану квітниково-декоративних насаджень м. Кривий Ріг[6], існує низка негативних моментів щодо їх формування і ефективного використання. Покращити стан таких насаджень, на нашу думку, можна саме за рахунок представників родини Poaceae Barnhart, які володіють високою екологічною пластичністю і підвищеною стійкістю до посушливих умов зростання.

Загальновідомо, що ріст листків досить повно характеризує поведінку багаторічних рослин у певному середовищі і відображає функціонування системи рослинного організму в цілому, а не його окремих підсистем, та дозволяє визначити пов'язаність розвитку рослини з умовами зростання[7]. Оскільки площа листка, їх розміри у комплексі з розвитком надземних вегетативних і генеративних органів наглядно характеризує стан рослини за стресової дії багатьох чинників їх детальне вивчення дозволить нам поглибити уявлення про адаптаційні реакції рослин-інтродуцентів. Саме тому **метою роботи** було дослідити еколого-біологічні особливості сезонного розвитку видів родини Poaceae та мінливість морфологічних ознак їх асиміляційних органів в умовах Криворізького ботанічного саду НАН України (Правобережний Степ України).

Матеріали та методи досліджень

Об'єктами дослідження виступали *Miscanthus sinensis* Anderss. і *Festuca cinerea* Vill, які проходять інтродукційні дослідження у Криворізькому ботанічному саду НАН України (КБС) понад 15 років (2004–2023 рр.). Еколого-біологічні показники рослин і терміни проходження фенологічних фаз росту та розвитку визначали загальноприйнятими методами[8]. Фіксували фази початку весняного відростання, цвітіння, початку плодоношення, закінчення вегетації. Життєві форми описували за К. Раункієром[9].

Для аналізу кількісних змін у обох досліджуваних видів відбиралися листки з середньої частини однорічного пагона у три етапи: III декада травня (25.05.2023 р.), III декада липня (25.07.2023 р.) і III декада вересня (25.09.2023 р.). Морфологічні показники надземних пагонів описували за С.М. Зиман зі співавторами[10]. А площу листкової поверхні злаків визначали розрахунковим методом[11,12], за формулою:

$$S = k \cdot L \cdot B,$$

де k – перевідний коефіцієнт (0,686 для міскантусу китайського і 0,798 для костриці); L та B – довжина та ширина листка, см. Коефіцієнт видовженості листка визначали як відношення довжини листкової пластинки до її ширини[13].

Статистичну обробку даних і ступінь залежності досліджуваних параметрів (кореляцію) проводили методами параметричної варіаційної статистики на 95% рівні значущості ($P \leq 0,05$) за О.О. Єгоршиним[14], використовуючи пакет програм Microsoft Office Excel.

Результати

Кривий Ріг – одне з найбільших промислових міст України, розташоване у степовій зоні. Антропогенні ландшафти міста мають збіднений біотичний компонент, застарілий у сенсі сучасного озеленення, а рослини в штучних фітоценозах пригнічені і не виявляють в повній мірі властивих їм декоративних якостей[6]. Природно-кліматичні умови характеризуються нестачею вологи у повітрі і ґрунті, аномально високими літніми (до +38°C) й осінніми (до +29°C у вересні) температурами та нестійким сніговим покривом взимку. Влітку часто спостерігаються суховії, а взимку – відлиги, іноді з підвищенням температури у січні-лютому до +5,5°C – +15,2°C (у 2020–2023 рр.). За останні 30 років на Криворіжжі середньорічна температура повітря підвищилася на понад 2,5°C і складає +8,7 – +11,5°C (у 2003–2023 рр.). Сума активних температур (вище за +10°C) у середньому становить 3100°C. Річна сума опадів у 2003–2023 роках коливалася в межах 200–560 мм[15,16].

Злакові (Poaceae), або токоногові – одна з найбільших родин покритонасінних рослин, що складається з близько 12000 видів багатоцільового використання, 340 з яких зростають і в Україні[17]. Для степової зони України як *M. sinensis*, так і *F. cinerea* є інтродуцентами. Хоча костриця сизувата і зустрічається в Україні, однак ареал її поширення охоплює переважно лісостепову зону[18,19], а природні місцезростання міскантусу китайського – Західна Африка, та Азія[20]. В умовах КБС досліджувані види родини Poaceae за життєвою формою – щільнокущові трав'янисті полікарпіки з асимілюючими пагонами несукулентного типу, гемікриптофіти. Тоді як за строками відростання *M. sinensis* – весняно-літньо-осінньозелена рослина із середнім весняним відростанням і розтягнутими фенофазами, а *F. cinerea* – зимовозелена рослина раннього весняного відростання зі швидкими темпами розвитку.

Пристосовуючись до кліматичних умов конкретної території, рослини суттєво міняють ритміку процесів росту і розвитку, тому особливості реакції на кліматичні зміни у згаданих видів значно відрізнялися. Так, рослини *F. cinerea* в умовах КБС протягом 2004–2023 років достовірно не змінили терміни фаз вегетації та тривалість вегетаційного періоду, враховуючи широку амплітуду коливання дат початку і кінця сезонного розвитку (18–27 діб). Весняне відростання відбувається в другій половині березня, а завершення вегетації – у II–III декаді листопада (табл. 1). Цвітіння швидкоплинне (7–15 діб), порційне і припадає на кінець травня, плоди визрівають у другій половині червня.

На відміну від попереднього виду, весняне відростання рослин *M. sinensis* в інтродукційних умовах спостерігається на початку квітня з різницею 5–10 діб, залежно від настання сталих позитивних температур (табл. 1). Завершення вегетації за останні п'ять років відбувається у I декаді грудня, тоді як у 2004–2006 рр. – на початку листопада.

Таблиця 1 – Фенорозвиток видів родини Poaceae Barnhart інтродукованих у Криворізький ботанічний сад НАН України

Роки дослідження	Початок вегетації	Початок цвітіння	Початок плодоношення	Закінчення вегетації	Діб вегетації
Festuca cinerea Vill.					
2004-2009	18.03±11	17.05±3	22.06±6	10.11±28	238,2±33,4
2010-2015	16.03±8	27.05±13	1.07±14	15.11±20	241,8±21,0
2019-2023	20.03±21	22.05±8	30.06±8	3.12±13	261,8±38,3
Miskantus sinensis Anderss.					
2004-2006	19.04±5	7.08±7	10.09±8	1.11±18	192,7±24,6
2007-2011	4.04±13	11.08±4	17.09±2	22.11±15	235,3±4,9
2019-2023	4.04±14	5.08±16	12.09±16	13.12±4	251,3±15,6

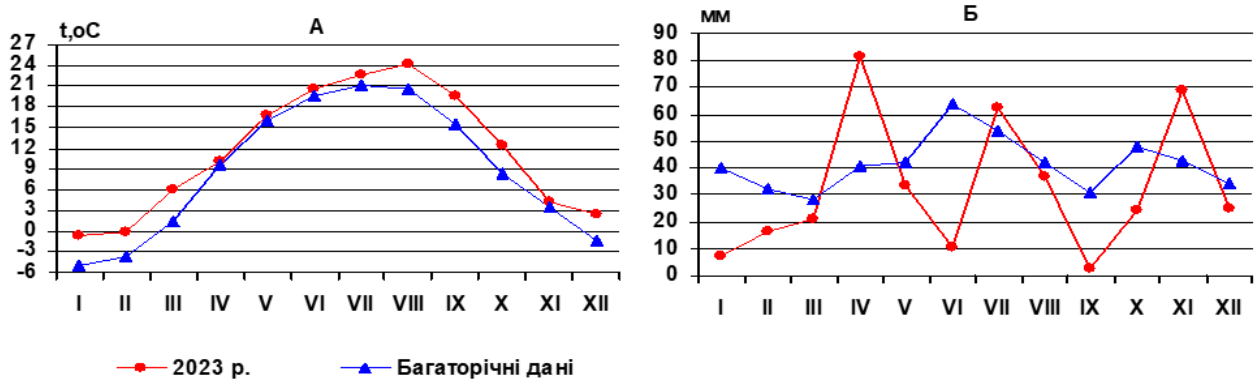

Рис. 1. Характеристика метеорологічних умов 2023 року (за даними метеостанції КБС НАН України м. Кривий Ріг): А – середньомісячна температура повітря, Б – середньомісячна сума опадів; багаторічні дані наведені за архівом погоди[16].

Завдяки таким змінам вегетаційний період збільшується на 35–40 діб і досягає 251 доби. Достовірно підтверджених змін ритмів розвитку генеративної сфери рослин цього виду не виявлено: цвітіння починається в першій половині серпня, плодоношення – у другій половині вересня.

Дослідження морфоструктурних змін асиміляційних органів протягом сезонного онтогенетичного розвитку проводили у 2023 році, який відрізнявся досить складними метеорологічними умовами вирощування (рис. 1).

Оскільки рослина багаторічного злаку являє собою складну систему пагонів різних порядків, які відрізняються між собою за віком і ступенем сформованості, то вивчення розвитку пагонів та їх морфологічних характеристик є важливим питанням інтродукції[21]. Основні морфометричні параметри надземної частини досліджуваних видів в умовах КБС були оцінені у період їх інтенсивної вегетації (кінець серпня). *M. sinensis* – кореневищний трав'янистий багаторічник, з пагонами анізотропного типу, близько 25% з яких є озимими. Вегетативне відновлення виду симподіальне, а кущіння пагонів постгенеративне. Бруньки відновлення (4–6 шт.), розташовані на вкорочених міжвузлях кореневища і формуються в кінці листопада. Рослини міскантусу мали найбільші ростові параметрами серед досліджуваних злаків (табл. 2). Висота вегетативно-генеративного пагону в середньому сягала 150,8 см та майже в 20 разів перевищувала показники костриці. В умовах інтродукції на пагоні *M. sinensis* формується до 15 міжвузль, котрі біля основи пагона дуже короткі, а у префлоральній та флоральній зоні видовжуються.

F. cinerea – трав'янистий вічнозелений багаторічник, який відноситься до групи вузьколистих костриць Британських островів[22,23], низовий щільнокущовий злак[24]. На відміну від міскантусів, вегетативні пагони у досліджуваного виду дуже короткі з вкороченими міжвузлями, а висоту куща в основному формує довжина листків. Вузол кущіння у рослин *F. cinerea* знаходиться біля поверхні ґрунту (0,5–1 см), бокові вегетативні пагони щільно прилягають один до одного та ростуть перпендикулярно до ґрунтової поверхні. В умовах КБС пагони *F. cinerea* містять 4–5 міжвузль і сягають завдовжки до 8,0–9,0 см та близько 3 мм у діаметрі (табл. 2).

Листок один з основних органів рослини, що виконує функції фотосинтезу, транспірації, газообміну і сприяє нагромадженню біомаси. В умовах

Таблиця 2 – Морфологія вегетативно-генеративних пагонів видів родини Poaceae Barnhart

Довжина пагона, см	Діаметр стебла, см	Кількість листків на пагоні, шт.	Довжина міжвузль, см		Кількість міжвузль, шт.
			Префлоральна зона	Флоральна зона	
Miskantus sinensis Anderss.					
150,8±3,30	0,5±0,02	15,2±0,54	11,0±0,67	6,2±0,54	15,2±0,54
Festuca cinerea Vill.					
8,6±0,45	0,3±0,01	8,2±0,31	0,6±0,02	0,2±0,04	4,2±0,31

Таблиця 3 – Мінливість морфологічних ознак листка видів родини Poaceae Barnhart протягом сезонного розвитку в умовах Криворізького ботанічного саду

Етап дослідження	Довжина листка (з черешком), см	Ширина листка, см	Площа листка, см^2	$К_в$
Miskantus sinensis Anderss.				
III декада травня	51,5±0,17	1,5±0,28	53,0±0,15	34,3
III декада липня	71,9±0,61*	1,7±0,04	83,9±0,25*	42,3
III декада вересня	73,6±0,40*	1,5±0,61	75,7±0,47*	49,1
Festuca cinerea Vill.				
III декада травня	21,4±0,50	0,1±0,01	1,7±0,06	214,0
III декада липня	27,8±0,27*	0,13±0,01*	2,9±0,16*	214,0
III декада вересня	31,0±0,18*	0,1±0,02*	2,5±0,17	310,0

Примітка: $К_в$ – коефіцієнт видовженості листка (співвідношення довжини до ширини листка); * – розбіжності достовірні відносно контролю за t-критерієм Стьюдента при $\rho \leq 0,05$.

інтродукції КБС у рослин *M. sinensis* від початку весняного відростання один за одним розвиваються дуже жорсткі, зелені, стеблові листки лінійної або ланцетно-лінійної форми з паралельним жилкуванням і яскраво вираженою середньою жилкою. Листкорозміщення чергове (спіральне). У *F. cinerea* листки сизо-зеленого кольору, вузьколінійні, жорсткі, шкірясті, загострені на кінці. Листкорозміщення супротивне.

Відмітимо, що протягом сезонного онтогенетичного розвитку згаданих видів будова листків залишалася сталою, тоді як ростові параметри (довжина, ширина і площа листової пластинки) змінювалися. Так, ширина листків у *M. sinensis* за вегетаційний період достовірно не змінювалася (показники варіювали в межах ± 13%) і сягала 1,5–1,7 см. Тоді як розміри довжини та площі листка відзначалися більш значними змінами, про що свідчить коефіцієнт видовженості листка (табл. 3). У III декаді липня довжина листкової пластинки виду збільшувалася у 1,4 раза, а площа – у 1,6 раза відносно весняних показників. Наприкінці вересня ширина листка у рослин *M. sinensis* зменшувалася до рівня весняних показників, а довжина залишалася практично незмінною, що призвело до скорочення на 11% площі листкової поверхні.

На відміну від попереднього виду у *F. cinerea* всі ростові показники листка достовірно реагували на зміну кліматичних умов протягом вегетації (табл. 3). Порівняно з весняними показниками у III декаді липня довжина і ширина листка виду збільшувалася на 30%, а його площа зросла у 1,7 рази. Проте у найбільш посушливий період (серпень-вересень) відбувалося пригнічення ростових процесів в асиміляційних органах костриці: ширина скорочувалася на 30%, а довжина навпаки зростала на 12% відносно попереднього періоду досліджень. Як наслідок у костриці сизуватої листок видовжився (коефіцієнт видовженості листка на 40% перевищує контрольні рівні), а площа листової пластинки зменшилася на 16%.

Для визначення сили впливу екологічних чинників середовища, в якому проходить розвиток рослин, був проведений корелятивний аналіз залежності параметрів листка від температури повітря та кількості опадів. Отримані результати свідчили про наявність прямої кореляційної залежності між кліматичними умовами та розмірами листків. Причому, в більшій мірі на зміну ростових показників листка обох видів рослин протягом онтогенетичного розвитку впливав недостатній рівень зволоження, а сила зв'язку міцнішала з часом, що підтверджується кореляційними коефіцієнтами середнього рівня від r=+0,32 до r=+0,57. Відмітимо, що у рослин *F. cinerea* ступінь сполученості ростових параметрів із сумою атмосферних опадів в умовах КБС був вищий (r = +0,35 – +0,57), ніж у *M. sinensis* (r = +0,32 – +0,48). Натомість, температурний фактор майже не впливав на розвиток листка досліджуваних злаків (r > +0,2).

Обговорення

Фенологічні реакції рослин через зміну клімату вже зараз впливають на моделі біорізноманіття та їх трофічні взаємодії, а також на функції екосистем у світі. Багато видів рослин реагують на підвищення температури, змінюючи час фенологічних фаз розвитку у бік раннього весняного відростання та пізнішого осіннього завершення розвитку, що призводить до загального збільшення тривалості вегетаційного періоду[8]. Яскравим прикладом цього в інтродукційних умовах КБС є рослини *M. sinensis*, у яких період вегетації збільшився на 35–40 діб порівняно з 2004–2009 рр. Тоді як *F. cinerea* за останні 15 років достовірно не змінила терміни фенофаз і тривалість сезонного розвитку. Це може свідчити або про низький рівень пластичності виду, або ж навпаки про високий рівень його життєвості, що підтверджується широким ареалом розповсюдження[24].

В екстремальних умовах вирощування відповідь рослин охоплює кілька типів адаптивних стратегій, які, першочергово, пов'язані з модифікаціями фотосинтетичних структур, що регулюють водний статус і фізіологічні функції рослин зменшенням провідності продихів, листкової поверхні, збільшенням співвідношення корінь/пагін[25,26]. Адаптація рослин до нових ґрунтово-кліматичних умов проявляється не лише в морфологічних ознаках і фізіологічних реакціях, а й в особливостях їх розвитку[27,28]. Одне з найбільш яскравих відображень життєдіяльності рослинного організму в змінених умовах довкілля є приріст рослин у висоту, який залежить від сукупності процесів обміну[29]. Основні морфометричні параметри досліджуваних нами багаторічних злакових рослин залежали від їх видових особливостей та екологічних чинників зростання. Зауважимо, що ростові параметри пагонів *F. cinerea* мало відрізнялися від природних місцезростань[30], тоді як рослини *M. sinensis* формували на 20 см коротші і на 20% менші в діаметрі пагони, ніж у інтродукованих рослин з вологішої лісостепової зони[21,31]. А в умовах теплого і вологого клімату природних для *M. sinensis* місцезростань[24,32] висота рослин зазвичай сягає до 2,5 м. Встановлене, вочевидь, зумовлено ксерофітизацією тканин пагона у посушливих умовах Правобережно-степового Придніпров'я.

Ріст листків досить повно характеризує поведінку злаків у певному середовищі, відбиває функціонування системи рослинного організму в цілому і дозволяє визначити пов'язаність розвитку рослини з умовами зростання. В посушливих умовах вирощування дефіцит вологи, насамперед, призводить до зменшення кількості листків на рослині, їх індивідуального розміру та тривалості життя, які напряму залежать від тургору, асимілюючого запасу листка, температури повітря і водного потенціалу ґрунту[33,34]. Розвиток листків і пагонів на морфологічному рівні також реагує на температурний стрес – спостерігаються реакції ауксинзалежного подовження гіпокотилю та черешка[7,26].

Досліджені нами особливості морфогенезу листків у *M. sinensis* і *F. cinerea* протягом сезонного онтогенетичного розвитку свідчать про те, що будова їх листків залишалася сталою, тоді як ростові параметри змінювалися залежно від фаз розвитку та кліматичних умов. Відмітимо, що навіть у найсприятливіший для росту і розвитку період (середньодобова температура повітря +22,9°C і достатній рівень зволоження) обидва види формували у 1,3 (*M. sinensis*) і 1,5 раза (*F. cinerea*) коротші і вужчі листки, порівняно з рослинами з природніх місцезростань[18,24]. У лісостеповій зоні Україні для рослин *M. sinensis* умови зростання набагато комфортніші, так як органи асиміляції у них розвиваються на 15% більші за розмірами, відносно наших показників[31].

Характерною особливістю розвитку декоративних злаків в інтродукційних умовах КБС у найпосушливіший період (середньомісячна температура повітря коливалася в межах +22,8-23,9°C, а в окремі дні сягала +29,2°C, тоді як сума опадів не перевищувала 2,4 мм) було видовження листової пластинки та скорочення площі листкової поверхні на 11 і 16% для *M. sinensis* і *F. cinerea* відповідно, що сприяло зменшенню транспіраційної поверхні і, вочевидь, є ознакою ксероморфізації асиміляційних органів. Такі пристосувальні морфологічні реакції листка у костриці, як стверджують інші дослідники[35,36], поряд з видоспецифічним скручуванням листка в трубку, дозволяють рослині економити воду та забезпечують її виживання у несприятливих ксерофітних умовах довкілля. На зміну ростових показників листка обох видів на даному етапі сезонного розвитку в більшій мірі впливав недостатній рівень зволоження, на що вказують розраховані нами кореляційні коефіцієнти середнього рівня від r=+0,42 до r=+0,57. Зазначене добре узгоджується з дослідженнями V. De Micco[33], котрий довів, що вологість повітря є лімітуючим фактором росту багатьох видів рослин у посушливих умовах зростання. На відміну від сумарної кількості опадів, температурний фактор, за нашими даними, лише опосередковано впливав на морфометричні показники листків згаданих видів ($r > +0,2$).

Висновки

Таким чином, установлено, що в умовах посушливої степової зони України рослини *M. sinensis* та *F. cinerea* проходять всі етапи сезонного ритму розвитку. Кліматичні зміни у першого виду призвели до більш раннього початку

вегетації (на 5–10 діб) та подовження її періоду (на 35–40 діб), тоді як у другого ритми розвитку достовірно не змінюються за останні 15 років. З'ясовано, що в умовах інтродукції (Степ України), порівняно з даними в природних ареалах, ростові параметри пагонів *F. cinerea* залишалися сталими, тоді як рослини *M. sinensis* формували в 1,5–1,7 раза коротші і на 20% менші в діаметрі пагони.

Встановлено морфологічні особливості формування листків за впливу екстремальних кліматичних умов 2023 року. Доведено, що восени (кінець вересня) в обох досліджуваних видів відбувається зменшення площі листкової пластинки на 11–16%, порівняно з показниками влітку. Видоспецифічність адаптаційного пристосування декоративних злаків виявлялась у різній інтенсивності збільшення або зменшення лінійних параметрів асиміляційних органів (довжини і ширини). Виявлені реакції сприяли регуляції транспірації і забезпечували захист рослин за дії посухи, на вплив якої вказують кореляційні коефіцієнти середнього рівня.

Література

(1) Gray, S. B.; Brady, S. M. Plant developmental responses to climate change. *Developmental Biology*. **2016**, *419*, 64-77. doi:10.1016/j.ydbio.2016.07.023

(2) Дідух, Я. П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: Причини, наслідки, дії. *Вісник НАН України*. **2009**, *2*, 34-44. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2009_2_12 (дата звернення 01.15.2023.

(3) Лихолат, Ю. В.; Хромих,Н. О.; Дідур, О. О.; Оковитий, С. І.; Матюха, В. Л.; Савосько, В. М.; Лихолат, Т. Ю. *Сучасний стан антропогенної трансформації екосистем степового Придніпров'я*. ФОП Чернявський Д. О.: Кривий Ріг, 2019; 146 с.

(4) Недуха, О. М. *Клітинна оболонка і фактори середовища*. Альтерпрес: Київ, 2015; 291 с.

(5) Global Framework for Biological Diversity (COP15 Global Framework) : Kunming-Montreal global biodiversity framework. https://www.cbd.int/gbf/ (дата звернення 01.20.2023).

(6) Чипиляк, Т. Ф.; Зубровська, О. М.; Шоль, Г. Н. *Рослини в урботехногенному середовищі степової зони України*. Талком: Київ, 2022; 390 с.

(7) Franklin, K. A. Light and temperature signal crosstalk in plant development. *Curr. Opin. Plant Biol*. **2009,** *12*, 63-68. doi:10.1016/j.pbi.2008.09.007

(8) Nordt, B.; Hensen, I.; Bucher, S. F.; Freiberg, M.; Primack, R. B.; Stevens, A.-D.; Bonn, A.; Wirth, Ch.; Jakubka, D.; Plos, C.; Sporbert, M.; Römermann, Ch. The PhenObs initiative: A standardised protocol for monitoring phenological responses to climate change using herbaceous plant species in botanical gardens. *Funct. Ecol*. **2021**, *35*, 821-834. doi:10.1111/1365-2435.13747

(9) Raunkiaer, C. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Claredon Press: Oxford, 1934; 632 p.

(10) Зиман С. М., Мосякін С. Л., Булах О. В.; Царенко, О. М.; Фельбаба-Клушина, Л. М. *Ілюстрований довідник з морфології квіткових рослин. Навчально-методичний посібник*. Медіум: Ужгород, 2004; 156 с.

(11) Малюченко, І. О.; Нєпєіна, Г. В. *Методичні вказівки для проведення лабораторних робіт із біології з основами біоекології для студентів спеціальності «101» Екологія» галузь знань 10 «Природничі науки» спеціальності 101 «Екологія» освітньої програми «Екологія» : методичні вказівки*. Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили: Миколаїв, 2021; 112 с.

(12) Квак, В. М.; Ганженко, О. М.; Зиков, П. Ю.; Хіврич, О. Б. Визначання площі листкової поверхні у різних видів міскантусу розрахунковим методом. *Новітні агротехнології*. **[Online] 2017**, *5*, 7 с. http://jna.bio.gov.ua/article/view/122228 (дата звернення 02.25.23).

(13) Ганжа, Д. Морфологічна реакція листків тополі в різних умовах урботехногенного навантаження. *Вісник Львівського у-ту. Серія біологічна*. **2012**, *60*, 163-170.

(14) Єгоршин, О. О.; Лісовий, М. В. *Математичне планування польових дослідів та статистична обробка експериментальних даних*. Вид-во Ін-ту грунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського: Харків, 2005; 193 с.

(15) Паранько, І. С.; Шипунова, В. О. Клімат Криворіжжя. У кн. *Фізична географія Криворіжжя: монографічна навчальна книга*; Паранько, І. С.; Казаков, В. Л.; Калініченко, О. О.; Коцюруба, В. В.; Остапчук, І. О.; Савосько, В. М.; Шипунова, В. О.; Ярков, С. В., Ред.; Р.А. Козлов: Кривий Ріг, 2015; С. 82-102.

(16) Meteopost. Архів погоди за 2003-2023 рр.: аеропорт м. Кривий Ріг. https://meteopost.com/weather/archive/ (дата звернення 27.01.2024).

(17) Mosyakin, S. L., Fedoronchuk, M. M. *Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist*. M.G. Kholodny Institute of Botany: Kyiv, 1999; 346 p.

(18) Беднарська, І. О. Рід *Festuca* L. (*Poaceae*) у флорі західних регіонів України. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : 03.00.05. Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, 2007.

(19) Гриник, О. М.; Горбенко, Н. Є. Екологічна характеристика газонотвірних трав'яних рослин паркової зони Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*. **2011**, *21.9*, 58-65.
(20) Міскантус в Україні. ТОВ «ЦП «Компрінт»: Київ, 2019; 256 с.
(21) Радченко, М. В.; Глупак, З. І.; Данильченко, О. М. Вирощування міскантусу в умовах північно-східної частини Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету : науковий журнал. Серія «Агрономія і біологія»*. **2019**, *3(37)*, 36-41.
(22) Toman, M. Populations analyse der Sammelart *Festuca cinerea* in Böhmen. *Feddes Repert*. **1974**, *85*, 533-574.
(23) Haveman, R. Het *Festuca ovina*-complex in Nederland. 2. *F. lemanii* Bast. en *F. brevipila* Tracey. *Gorteria.* **2005**, *31*, 29-35.
(24) Greenlee, J. *The encyclopedia of ornamental grasses*. Rodale Press: Emmaus RA, 1992; 182 p.
(25) Potters, G.; Pasternak, T. P.; Guisez Y.; Palme, K. J.; Jansen, M. A. Stress-induced morphogenetic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci.* **2007**, *12(3)*, 98-105. doi:10.1016/j.tplants.2007.01.004
(26) Hatfield, J. L.; Boote, K. J.; Kimball, B. A.; Ziska, L. H.; Izaurralde, R. C.; Ort, D.; Thomson, A. M.; Wolfe, D. Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agron. J.* **2011**, *103*, 351-370. doi:10.2134/agronj2010.0303
(27) Рахметов, Д. Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. Київ : Аграр Медіа Груп, 2011. 398 с.
(28) Shipley, B.; De Bello, F.; Cornelissen, J. H. C.; Laliberté, E.; Laughlin, D. C.; Reich, P. B. Reinforcing loose foundation stones in trait based plant ecology / *Oecologia*. **2016**, *180(4)*, 923-931. doi:10.1007/s00442-016-3549-x
(29) Darke, Rick. *The encyclopedia of grasses for livable landscapes*. TimberPress Inc.: Portland, 2007; 487 p.
(30) Foggi, B.; Rossi, G. A survey of the genus *Festuca* L. (Poaceae) in Italy. I. The species of the summit flora in the Tuscan-Emilian Apennines and Apuan Alps. *Willdenowia*. **1996,** *26(1/2)*, 183-215. doi:10.3372/wi.26.2605
(31) Щербакова, Т. О.; Рахметов, Д. Б. Морфологічні особливості монокарпічних пагонів видів роду *Miscanthus* Anderss у зв'язку з інтродукцією в Лісостепу та Поліссі України. *Інтродукція рослин*. **2014**, *2*, 3-9. http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2014_2_2
(32) Heaton, E. A.; Long, S. P.; Voigt, T. B.; Jones, M. B.; Clifton-Brown, J. *Miscanthus* for Renewable Energy Generation: European Union Experience and Projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change.* **2004**, *9*, 433-451. doi:10.1023/B:MITI.0000038848.94134.be
(33) De Micco, V.; Aronne, G. Morpho-Anatomical Traits for Plant Adaptation to Drought. In book : Plant Responses to Drought Stress. R. Aroca (ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. doi:10.1007/978-3-642-32653-0_2.
(34) Anjum, Sh. A.; Xie, X.-Yu.; Wang, L.-Ch.; Saleem, M. F.; Man, Ch.; Lei, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*. **2011,** *6(9)*, 2026-2032. doi:10.5897/AJAR10.027.
(35) Łuszczyńska, B. Distribution of *Festuca ovina* group (*Poaceae*) species in the xerothermic communities of the Pińczów Hump and adjacent areas (southern Poland). In *Studies on grasses in Poland;* Frey L. Ed.; Kraków, 2001; P. 201-209.
(36) Закорко, Н. Г.; Солодовник, А. А. Особливості анатомо-морфологічної будови листка у деяких видів рослин, які пристосовані до зростання у ксерофітних умовах. *Природничі науки : збірник наукових праць*. **2013**, *10*, 70-80.

UDC 581.1+543.5
DOI https://doi.org/10.26661/2410-0943-2024-1-02

Herbaceous plants as heavy metals accumulators in conditions of ash and slag dumps

Semak U. Y., Mylenka M. M.
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
uliana.semak@pnu.edu.ua

Key words: *pollutants, heavy metals, bioaccumulation indexes, vegetation of technogenic ecotopes, phytoremediation.*

Storage of ash and slag waste causes a number of environmental problems, including the transformation of natural geochemical cycles and the change of the natural radioactive background due to the increased concentration of heavy metals and radioactive isotopes in coal combustion products. Plants can provide an effective approach for the analysis and monitoring of heavy metals contamination. Additionally, vegetation plays a significant role in the restoration and remediation of heavy metal-contaminated soils. The application of plants in phytoremediation is a green and sustainable solution for decontaminating polluted sites. Moreover, the key role in the restoration of contaminated sites belongs to native species. Within the presented research, the abilities of native dominant species to accumulate and tolerate heavy metals in conditions of ash and slag dumps were investigated on a limited number of samples. Primary analysis of the bioaccumulation of heavy metals through the bioaccumulation coefficient showed that zinc has the highest accumulation capacity in the studied species. The ability to bioaccumulate the analyzed heavy metals decreases in the following order: Zn > Fe > Cu > Mn > Cd > Ni > Pb. Indexing the biogeochemical activity of the tested species showed higher levels of biochemical activity for *Anthemis arvensis* L. than for *Achillea millefolium* L., however, these data need to be confirmed by statistical analysis. Determination of the translocation index of elements reflected the high mobility of zinc and cadmium with a high rate of transferring to above-ground biomass, but the potential for accumulation requires scaling up the experiment with the involvement of a larger number of samples and performing statistical data processing. Due to their ability to accumulate heavy metals in roots, plant species could be used for phytostabilization. Establishing methods of biomonitoring and the development of green reclamation technologies with native species application need further research with both selected species and other local species. The presented research showed primary results of bioindication and references for phytoremediation of heavy metal contamination of the ash and slag dumps, which is relevant for other similar environmental conditions.

Key words: *pollutants, heavy metals, bioaccumulation indexes, vegetation of technogenic ecotopes, phytoremediation.*

Акумуляція важких металів трав'яними рослинами в умовах зростання на золошлаковідвалах

Семак У. Й., Миленька М. М.
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
uliana.semak@pnu.edu.ua

Ключові слова: *полютанти, важкі метали, рослинність техногенних екотопів, індекси біоакумуляції, фіторемедіація.*

Накопичення та зберігання золошлаковідвалів викликає низку екологічних проблем, серед яких трансформація природних геохімічних циклів, зміна природного радіоактивного фону через підвищення концентрації важких металів та радіоактивних ізотопів у продуктах спалювання вугілля. Рослинні організми є високоінформативними біоіндикаторами забруднення важкими металами. Крім того, рослинність відіграє пріорітетну роль у відновленні та рекультивації забруднених важкими металами ґрунтів. Використання рослин у фіторемедіації є перспективним, екологічно стійким рішенням для відновлення територій, що зазнали забруднення важкими металами. Слід зазначити, що ключова роль у відновленні таких земель належить саме місцевим аборигенним видам. У представленому дослідженні показано первинне дослідження на обмеженій кількості зразків здатності аборигенних видів рослин до акумуляції важких металів та стійкості до них в умовах золошлаковідвалів. Аналіз накопичення важких металів через коефіцієнт біоакумуляції показав що найвищу акумулюючу здатність у досліджуваних видах виявляє цинк. Здатність аналізованих важких металів до біоакумуляції зменшується у порядку: Zn > Fe > Cu > Mn > Cd > Ni > Pb. Попередня оцінка індексації біогеохімічної активності досліджуваних видів показала дещо вищі рівні біохімічної активності *Anthemis arvensis* L., аніж *Achillea millefolium* L., проте ці дані потребують підтвердження статистичним аналізом Визначення індексу транслокації елементів відобразило високу рухливість цинку та кадмію, що характеризується високою інтенсивністю переходу цих елементів у надземну біомасу. Завдяки здатності накопичувати важкі метали в коренях, досліджувані види рослин можна використовувати для фітостабілізації, однак аналіз потенціалу до акумуляції потребує масштабування експерименту із залученням більшої кількості зразків та проведення статистичної обробки даних Для широкого впровадження методів біомоніторингу та розвитку технологій фіторекультивації із застосуванням місцевих видів необхідні подальші дослідження як із обраними видами, так і з іншими місцевими видами. Представлене дослідження відображає первинні результати біоіндикації з використанням двох видів аборигеннної флори, а також висвітлює перспективи використання досліджуваних видів у фіторемедіації забруднених важкими металами території золошлаковідвалів.

Ключові слова: *полютанти, важкі метали, рослинність техногенних екотопів, індекси біоакумуляції, фіторемедіація.*

Introduction

Thermal power plants are sources of heavy metal contamination as during the process of coal combustion a significant amount of various trace elements, including heavy metals (such as Pb, Cu, Mn, Zn, Ni, Cd etc.) released to the environment[1,2]. It causes numerous environmental problems – contamination of heavy metals is one of the most pressing threats to water and soil resources as well as human health[3,4,5]. Storage of waste from coal combustion (ash and slag) is another factor of environmental risk from thermal energy production[3,6]. Fly ash contains toxic metals like Zn, Cd, Cr, Pb and Ni, which can cause environmental threat[7,8]. These toxic elements leach out from the fly ash dumps and contaminate nearby soil surfaces and groundwater[9]. Henceforth, heavy metals from fly ash during leaching influence on living organisms[10]. Within the influence of the Burshtyn TPP an increase in concentrations of mobile forms of heavy metal compounds in the environment was shown in previous researches[6,10,11]. In addition, soil contamination with radionuclides is observed[11].

Vegetation as a first acceptor in food chains has a key role in the accumulation of heavy metals[12,13]. Due to accumulation ability, plants are the most useful organisms to evaluate metal contamination[14,15,16]. However heavy metal concentrations in plants differed between species indicating their different strategies for metal accumulation[14]. Numerous research dedicated to analyzing heavy metal accumulation by herbaceous species[13,15]. There are several studies about the accumulation of heavy metals in fly ash lagoons and fields around coal-fired power stations which are contaminated with fly ash[17,18,19,20].

The problem of heavy metal contamination requires sustainable and effective solutions. One of the environmentally friendly approaches is the application of plants in phytoremediation[21,22]. Phytoremediation is a green remediation strategy, which is highly efficient for the decontamination of heavy metal-pollutions[21,23]. Comparing the potential environmental influence of phytoremediation with other treatment technologies, such as chemical and engineering treatments, phytoremediation impresses as the sustainable alternative[22]. Nevertheless, there are critical challenges against the potential of phytoremediation prevail: the lengthy time required and what should be done with the metal-including plant material[22] Despite this limitation, environmental benefits prevail: it enhances biodiversity, helps protect soil, diverse sources of energy and has aesthetic benefits[24].

Native dominant plant species are considered keys to the restoration and remediation of heavy metal contaminated soils[25,26]. Local native plants used for the remediation were better adapted to the soil properties, toxicity level and environmental conditions of the contaminated site[27,28]. The dominant plant species found on contaminated sites show clear tolerance and accumulation traits for heavy metals. They have a defence mechanism against high levels of heavy metals through a prolonged process of natural selection, resulting in their ability to withstand these conditions[29]. Phytoremediation proposes could be fit as herbaceous perennials as well as woody species[30], but as herbaceous species are pioneers and appear first, they could be more efficient than shrubs or trees. Herbaceous species usually adapt faster to adverse conditions because of their life cycles[28]. The main demands for phytoremediation species are well-developed roots, large biomass and tolerance to the high metal concentrations[13], which are inherent for herbaceous vegetation. Beneficial of spontaneous vegetation for phytoremediation purposes in examples of mine sites were shown in several researches[26,27].

Plants are particularly useful for analysis and monitoring heavy metals due to their stationary nature, making them ideal *in situ* bioindicators – plants can provide a cost-effective long-term approach for monitoring metal pollution[12,18,19]. At the same time, vegetation covers could be used for reclamation of heavy metals contaminated sites[23,28,29]. For establishing methods of biomonitoring and development of green reclamation technologies, investigation of the abilities to accumulate and tolerate against trace metals plant species is needed. Due to the high level of pollution of ash and slag dumps, the investigation of heavy metals concentration in plants and their ability to decontaminate the pollutants is especially important in the context of sustainable development of the region.

Therefore, the aim of this study is: (1) to measure metal contents in the native dominant plants; (2) to evaluate the migration potentials of these native dominant plants; (3) to estimate species abilities to remediation and their prospects for phytoremediation in the research area. Despite that the study contains limited data, the research results can provide valuable information about native species bioindication ability and their relevance for remediation of heavy metal-contaminated soil in the ash and slag dumps and other similar environmental conditions.

Materials and methods

The study area is the ash and slag dump site №3 of Burshtyn Thermal Power Plant. Burshtyn TPP annually produces more than 20 thousand tons of solid residues of fuel combustion products. The overall storage facility of ash and slag dump site № 3 is 24,674 million m^3, currently filled for 98.5 % of its capacity.

Soil sampling was carried out in July 2021 at previously determined points. The sampling approach was random; generally, there were 9 test plots. The soil samples were collected from the top layer (0–20 cm) of the soil profile after removing the surface cover. One kilo of soil samples from each point was collected and then stored in plastic bags until chemical analysis.

Two of the most common on the study site herbaceous plants (*Achillea millefolium* L. and *Anthemis cotula* L.) were selected for testing of metal accumulation abilities. Plant samples were collected in the area of the soil sampling point and a total of 30 plant samples. Herbaceous plant samples were divided into roots and shoots and washed gently to remove soil particles adhered to the plants. After washing, plant samples were air-dried at room temperature for two weeks. Mixed samples of dried plants (separately above and below ground biomass) and leaves were 100 gr each. In total, there were 9 samples of each species.

Samples of plants, soil were subjected to an anatomic absorption spectrometer with spectrophotometer AAS-3 to be analyzed for metals like Cd, Zn, Ni, Fe, Mn, Cu and Pb[31]. The instrument setting and operational conditions were done in accordance with the manufacturers' specifications

and according to the Ukranian national analyzing standards[32,33].

Based on the results of the concentration of heavy metals, the average mean and the standard error of the mean (M±m), minimum (Min) and maximum (Max) of values and the coefficient of variation (CV, %) were calculated.

Since metals exist in different solid-phase forms that can vary greatly in terms of their bioavailability, the determination of total soil metal content is not a good measure[16]. A more useful tool to quantify contamination and potential environmental and human health risks is the assessment of bioavailability. The bioaccumulation factor (BAF) determines the efficiency of the plant accumulating heavy metals from soil and calculated BAF as the ratio between metal concentrations in root to metal concentration in soil outside the root zone[21,34]:

$$BAF=C_{plant} / C_{soil,}$$

C_{plant} – heavy metal concentration in plant tissue, mg/kg dry weight.

C_{soil} – heavy concentration in soil, mg/kg dry weight.

For the quantitative expression of the general ability of a plant species to the concentration of heavy metals, the biogeochemical index of activity (BIA) of the species was used, which is the total value obtained from the composition of the BAF of individual metals[35]:

$$BIA_{species} = \sum BAF.$$

For herbaceous plants we detect the translocation factor (TF) which is calculated to evaluate the ability of plants to translocate heavy metals from roots to shoots[21,34]:

$$TF=C_{plant\ shoot}/C_{plant\ root}$$

$C_{plantshoots}$ – heavy metal concentration in plant shoots, mg/kg dry weight.

$C_{plantsroots}$ – heavy metal concentration in plant roots, mg/kg dry weight.

Plant species with both bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) greater than one can potentially be used for heavy metal phytoextraction and/or phytostabilization[21,34]. Plant species with TF > 1 are regarded as good phytotranslocators[16]. This implies that these species effectively accumulated and transferred heavy metals from the soil to the above ground parts[16]. Plants with translocation and bioaccumulation values less than one are excluders and are not suitable for extracting heavy metals from soils[36].

Results

Evaluation of analyzed samples of herbaceous plants reflects the concentration tendency: the highest concentration was detected for Fe, Mn and Zn, the lowest one was for Cd. The concentration of mobile forms of heavy metals in herbaceous plants is shown in Table 1.

Achillea millefolium accumulated metals in the following order: Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Pb > Cd. Maximum accumulated ones were Fe and Mn – 549,02 mg/kg and 58,9 mg/kg respectively, minimum accumulated element was Cd – 0,34 mg/kg.

Anthemis arvensis accumulated metals in the same order, but with differences of concentration of Ni and Pb: Fe > Mn > Zn > Cu > Pb > Ni > Cd. *Anthemis arvensis* to compare with *A. millefolium* accumulated less Ni than Pb. In *A. arvensis* maximum accumulated ones were Fe and Mn – 529,67 mg/kg and 46,7 mg/kg respectively. The minimum accumulated element was Cd – 0,49 mg/kg. In general, *A. arvensis* accumulated higher concentrations of Cu, Zn, Pb, Cd than *A. millefolium*.

The ability to accumulate high concentrations of metals into plants aboveground biomass was estimated

Table 1 – Heavy metals concentration in 9 samples of herbaceous plants

Achillea millefolium							
	Heavy metal						
	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Mn	Fe
M±m	7,71 ± 0,45	19,36 ± 1,74	2,37 ± 0,19	3,04 ± 0,34	0,34 ± 0,06	58,88 ± 27,8	549,02 ± 268,9
Max	9,9	28,6	3,6	5,5	0,7	279,5	2544
Min	6,2	12,3	1,5	1,8	0,2	17,1	93
CV, %	17,43%	27,05%	24,82%	33,46%	56,43%	141,77%	146,98%
Anthemis arvensis							
	Heavy metal						
	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Mn	Fe
M±m	9,56 ± 0,77	28,78 ± 3,31	2,83 ± 0,18	2,89 ± 0,64	0,49 ± 0,08	46,66 ± 5,71	529,67 ± 211,82
Max	13,5	51,3	4,1	6,4	0,9	67	1556
Min	6,6	16,9	2,3	1,1	0,2	15,8	77,8
CV, %	24,25%	34,51%	19,09%	66,23%	51,59%	36,75%	119,97%

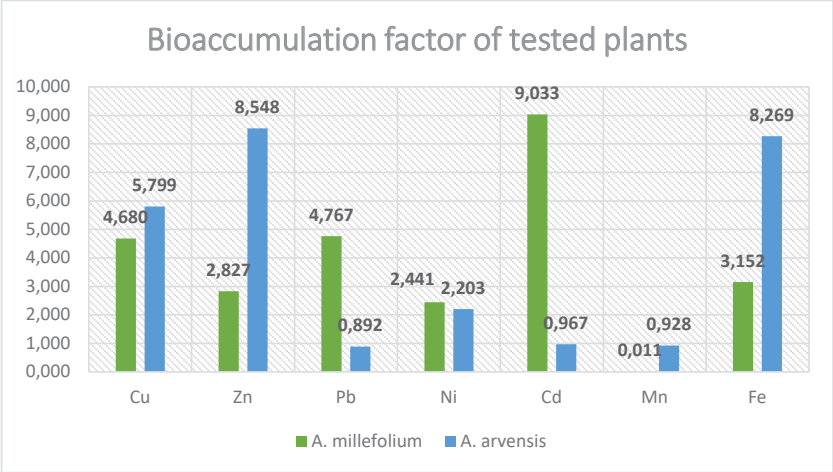

Figure 1. Bioaccumulation factor of tested plants (calculated based on 9 samples of each species and 9 samples of soil)

using the bioaccumulation factor and translocation factor. We calculated the bioaccumulation ability of selected species using the bioaccumulation factor (BAF). Among analyzed plant species, the average value of BAFs of the heavy metals is decreased in the order of: Zn > Fe > Cu > Mn > Cd > Ni > Pb. The highest accumulative ability shows Zn, the lowest – Pb (Fig. 1).

Different species have different potential for heavy metal accumulation. Estimating of species metals accumulation was based on their biogeochemical index of activity (BIA) – a higher BIA coefficient of accumulation was detected for *Anthemis arvensis* (27,606), when *Achillea millefolium* biogeochemical index of activity was 26,910.

Translocation factor (TF) as the ratio between underground and aboveground heavy metal concentration in plant biomass was detected too (Table 2).

The translocation factor for *Achillea millefolium* growing on the study site was found in the order of Zn > Cd > Pb > Cu > Ni > Mn > Fe. The highest value of TF in plants was for Zn with an average value of 1,516, and the lowest one was for Fe with an average value of 0,115.

The translocation factor for *Anthemis arvensis* growing on the study site was found in the order of Zn > Cd > Pb > Cu > Mn > Ni > Fe. The highest value of TF in plants was for Zn with an average value of 1,609, and the lowest one was for Fe with an average value of 0,082.

In the present study TF of all elements lower than one, except Zn in two samples and Cd in one sample. This finding indicates low mobility of Cu, Pb, Ni, Mn and Fe from the roots to the shoots and immobilization of heavy metals in roots.

Table 2 – Translocation factor of selected plants (calculated based on 9 samples of each species and 9 samples of soil)

Heavy metal	*Achillea millefolium*	*Anthemis arvensis*
Cu	0,782	0,685
Zn	1,516*	1,609*
Pb	0,768	0,917
Ni	0,757	0,318
Cd	0,909	1,944*
Mn	0,211	0,635
Fe	0,115	0,082
M±m	0,722 ± 0,18	0,884 ± 0,25
Max	0,115	0,082
Min	1,516	1,944

Comment: * – exceeding of TF above 1

Discussion

Based on our results there was a tendency with the highest concentration of Fe, Mn and Zn in all tested species. Both herbaceous species concentrate high amounts of Mn, Fe and Zn, the lowest was the concentration of Cd. The same trend for metal concentration in naturally growing plants on fly ash dump sites was presented in the results of Pandey et al. 2016 – a high concentration of Zn and Mn was found in *Cynodon dactylon* growing on fly ash dump sites. According to several studies[37,38] Zn is an element with intensive accumulation. Zn inhibits the Cd uptake due to its competitive behaviour with Cd, because both metals are transported by a common carrier at the root plasma membrane, which has more affinity for Zn than Cd[29]. In an example of *Trifolium pratense*[39] were observed accumulation of Cu: copper increases when accumulation of Zn decreases – it's

explained as an adaptation to metals contamination[39]. Research of heavy metals accumulation in *Artemisia absinthium*, *Melilotus officinalis* and *Hippophae rhamnoides* growing on ash and slag dump reflects that the highest bioaccumulation factor was for Zn[11].

Previous research of metal accumulation in *Achillea millefolium*[37,38] showed that the species has an ability to Pb accumulation[40], especially in inflorescence. Our research shows low Pb concentration, but the results confirm the low ability to Cd concentration[37,40]. Moreover, there is a seasonic dynamic of heavy metal concentration: in herbaceous species (for example of *Chelidonium majus*), increasing Zn concentration in aboveground biomass during flowering was shown with the highest concentration in root still[41].

To evaluate the ability of plants to translocate heavy metals from roots to shoots we detected a translocation factor (TF)[21,34]. The translocation factor above 1 means that these species effectively accumulated and transferred heavy metals from the soil to the above-ground parts[16]. TF > 1 for such elements like Zn and Cd were shown in the study of metal accumulation on fly ash lagoon[18]– it explains that transferring Zn to the aerial part is beneficial for the survival of the plant, because it's an important micronutrient[43], but Cd is a nonessential toxic metal. Yoon et al. 2006 showed that Pb and Cu, Zn concentrations were greater in the roots than the shoots – in this case, TF of these elements was below 1[42]. A higher translocation of heavy metals in aerial parts could be a reason for the easy transfer of these pollutants to the food chain[17]. As the index of TF reflects the transfer and redistribution of heavy metals among different parts of plants[13], the TF is below 1, indicating that metals are mainly accumulated in the roots and are rarely transported to the shoots. In our research, metal concentrations for most elements were higher in roots versus in shoots for both species. Higher concentration in roots explained that roots are the preferential metal storage organs[13,44]. Lower metal concentrations in the shoots than those in the roots indicate that the species could be metal excluders[14].

Conclusions

Analysis of bioaccumulation of metals through bioaccumulation coefficients showed that zinc had the highest accumulation capacity in the studied species, and lead had the lowest. The ability to bioaccumulate the analyzed heavy metals decreases in the order: Zn > Fe > Cu > Mn > Cd > Ni > Pb. The study of the biogeochemical activity of the tested species reflected a higher level of biochemical activity for *Anthemis arvensis*. Determination of the translocation index of elements reflected the low mobility of Cu, Pb, Ni, Mn and Fe from roots to shoots and evidenced the accumulation of heavy metals in the roots. Zn and Cd were found to be mobile elements with a high rate of transfer to above-ground biomass. Based on the translocation factor, we can conclude that none of the herbaceous species showed themselves as hyperaccumulators. Due to the ability to accumulate heavy metals in roots, plant species are promising for phytostabilization. However, the presented results are incomplete and require scaling with the involvement of a larger number of cells and statistical analysis.

Consequently, plants on technogenic ecotopes like ash and slag dumps could provide effective analysis and monitoring of heavy metals pollution. Further analysis of the natural vegetation of ash and slag dumps regarding the accumulation of heavy metals will determine their accumulative capacity and tolerance against pollutants and, therefore, their prospects for the use of these plant species in phytoremediation.

Acknowledgments

We are thankful to The National Scientific Center "Institute of Agriculture NAAS" for assistance in conducting experiments.

References

(1) Okedeyi, O.; Dube, S.; Awofolu, O.; Nindi, M. Assessing the enrichment of heavy metals in surface soil and plant (*Digitaria eriantha*) around coal-fired power plants in South Africa. *Environmental science and pollution research international*. **2013,** *21*(6), 4686–4696, doi.org/10.1007/s11356-013-2432-0.

(2) Strezov, V.; Cho, H. Environmental Impact Assessment from Direct Emissions of Australian Thermal Power Generation Technologies. *Journal of Cleaner Production*. **2020**, 270 (5), 122515, doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122515.

(3) Popov, O.; Iatsyshyn, A.; Kovach, V.; Artemchuk, V.; Kameneva, I.;, Radchenko, O.; Romanenko, Y. Effect of power plant ash and slag disposal on the environment and population health in Ukraine. *Journal of Health and Pollution*. **2021**, 11(31), doi.org/10.5696/2156-9614-11.31.210910.

(4) WWF report. Europe's dark cloud: How coal-burning countries are making their neighbours sick. [Online]. **2016**. URL https://www.energyforhumanity.org/en/resources/downloads-en/wwf-report-europes-dark-cloud-coal-burning-countries-making-neighbours-sick/ (accessed 04 February 2021).

(5) Cipranic, I.; Markovic, R.; Đorđievski, S.; Stevanovic, Z.; Stevanovic, M. The impact of coal ash and slag dump on the quality of surface and ground waters – a case study. *Journal of the Serbian Chemical Society*. **2019**, 84(5):527–530.

(6) Ковалів, Л.М. Екологічні проблеми теплових електростанцій. *Науковий вісник НЛТУ України*. **2013**, № 23 (18), 57–56.

(7) Sushil, S.; Batra, V. Analysis of fly ash heavy metal content and disposal in three thermal power plants in India. *Fuel*. **2006**, № 85, 2676–2679.

(8) Pandey, S.K.; Bhattacharya, T.; Chakraborty, S. Metal phytoremediation potential of naturally growing plants on fly ash dumpsite of Patratu thermal power station, Jharkhand, India. *International journal of phytoremediation*. **2016**, 18(1), 87–93, doi.org/10.1080/15226514.2015.1064353.

(9) Mikic, M.; Urosevic, D.; Gardic, V.; Petrovic, B. Monitoring the quality of water, air and soil of the ash and slag landfill of TPP Gacko Cassette III, phases 1 and 2. *Mining and Metallurgy Engineering*. **2014,** № 4, 105–124.

(10) Миленька, М.М. Біоіндикаційна оцінка екологічного стану Бурштинської урбоекосистеми. *Екологічний вісник*. **2016**, №1 (95), 19–22.

(11) Неспляк, О.С. Екологічні особливості формування флори і рослинності золошлаковідвалів Бурштинської теплової електростанції та їх використання в рекультивації. **Автореф. дис**., Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпропетровськ, 2011.

(12) Malizia, D.; Giuliano, A.; Ortaggi, G.; Masotti, A. Common plants as alternative analytical tools to monitor heavy metals in soil. *Chemistry Central Journal*. 2012, 6 (2), S6, doi.org/10.1186/1752-153X-6-S2-S6.

(13) Wu, B.; Peng, H.; Sheng, M.; Luo, H.; Wang, X.; Zhang, R.; Xu, F.; Xu, H. Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China. *Ecotoxicology and environmental safety*. **2021**, 220, 112368, doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368.

(14) Yang, X.; Feng, Y., He, Z.L.; Stoffella, P.J. Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2005, 18: 339–353, doi.10.1016/j.jtemb.2005.02.007.

(15) Mehes-Smith, M.; Nkongolo, K.; Narendrula, R.; Cholewa, E. Mobility of heavy metals in plants and soil: a case study from a mining region in Canada. *American Journal of Environmental Sciences*. **2013**, 9(6), 483–493.

(16) Kahangwa, C.; Nahonyo, C.; Sangu, G.; Kisetu Nassary, E. Assessing phytoremediation potentials of selected plant species in restoration of environments contaminated by heavy metals in gold mining areas of Tanzania. *Heliyon*. **2021**. 7(9), doi.e07979. 10.1016/j.heliyon.2021.e07979.

(17) Maiti, S.K.; Kumar, A.; Ahirwal, J.; Das, R. Comparative study on bioaccumulation and translocation of metals in Bermuda grass (Cynodon dactylon) naturally growing on fly ash lagoon and topsoil. *Applied ecology and environmental research*. 2016, 14(1), 1–12, doi.org/10.15666/aeer/1401_001012.

(18) Singh, R.; Singh, D.P.; Kumar, N.; Bhargava, S.K.; Barman, S.C. (2010). Accumulation and translocation of heavy metals in soil and plants from fly ash contaminated area. *Journal of environmental biology*. **2010**, 31(4), 421–430.

(19) Bislimi, K.; Halili, J.; Sahiti, H.; Bici, M.; Mazreku, I. (2021). Effect of Mining Activity in Accumulation of Heavy Metals in Soil and Plant (Urtica dioica L). *Journal of Ecological Engineering*. 2021, 22(1), 1-7, doi.org/10.12911/22998993/128691.

(20) Pandey, V.C. 2012. Phytoremediation of heavy metals from fly ash pond by Azolla caroliniana. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **2012**, 82, 8–12.

(21) Ali, H.; Khan, E.; Sajad, M.A. Phytoremediation of heavy metals – concepts and applications. *Chemosphere*. **2013**, 91, 869–881, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075.

(22) Adams, A.; Raman, A.; Hodgkins, D. How do the plants used in phytoremediation in constructed wetlands, a sustainable remediation strategy, perform in heavy-metal-contaminated mine sites? *Water and Environment Journal*. *2013*, 27, doi.10.1111/j.1747-6593.2012.00357.x.

(23) Bacchetta, G.; Cappai, G.; Carucci, A. Use of Native Plants for the Remediation of Abandoned Mine Sites in Mediterranean Semiarid Environments. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*. **2015**, 94, 326–333, doi.org/10.1007/s00128-015-1467-y

(24) Dickinson, N.M.; Baker, A.J.; Doronila, A.; Laidlaw, S.; Reeves, R.D. Phytoremediation of inorganics: realism and synergies. *International journal of phytoremediation*. **2009**, 11(2), 97–114, doi.org/10.1080/15226510802378368.

(25) Lorestandi, B.; Cheraghi, M.; Yousefi, N. Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology.* **2011**, 77, 377–382.

(26) Stylianou, M.; Gavriel, I.; Vogiatzakis, I.N.; Zorpas, A.; Agapiou, A. Native plants for the remediation of abandoned sulphide mines in Cyprus: A preliminary assessment. *Journal of environmental management*. **2020**, 274, 110531, doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110531.

(27) Bech, J.; Duran, P.; Roca, N.; Poma, W.; Sánchez, I.; Roca-Pérez, L.; Boluda, R.; Barceló, J.; Poschenrieder, C. Accumulation of Pb and Zn in Bidens triplinervia and Senecio sp. Spontaneous species from mine spoils in Peru and their potential use in phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012, 123, 109-113, doi.10.1016/j.gexplo.2012.06.021.
(28) Pandey, S.K.; Bhattacharya, T.; Chakraborty, S. 2016. Metal phytoremediation potential of naturally growing plants on fly ash dumpsite of Patratu thermal power station, Jharkhand, India. *International journal of phytoremediation*. **2016**, 18(1), 87–93, doi.org/10.1080/15226514.2015.1064353.
(29) Pandey, V.C. Assisted phytoremediation of fly ash dumps through naturally colonize plants. *Ecological Engineering*. **2015**, 82, 1–5.
(30) Sinha, S.; Mishra, R.; Sinam, G.; Mallick, S.; Gupta, A. Comparative Evaluation of Metal Phytoremediation Potential of Trees, Grasses, and Flowering Plants from Tannery-Wastewater-Contaminated Soil in Relation with Physicochemical Properties. *Soil and Sediment Contamination An International Journal*. **2010**, 22, doi.org/10.1080/15320383.2013.770437.
(31) ГОСТ 30178–96. Сировина і продукти харчові. Атомно-абсорбційний метод визначення токсичних елементів. URL http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76401 (доступний 12.03.2022).
(32) ДСТУ 4770:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з pH 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії [Чинний від 01.01.2009]. К.: Держспоживстандарт України.
(33) ДСТУ ISO 10381-2:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови з методів відбирання проб [Чинний від 01.04.2004]. К.: Держпоживстандарт.
(34) Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *The Science of the Total Environment*. **2006**, 368, 456–464, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016.
(35) Фецюх, А.; Буньоб Л.; Пацула, О.; Терек, О. Накопичення важких металів рослинами S. viminalis за росту на субстраті зі Стебницького хвостосховища. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол*. **2019**, 81, 96–110.
(36) Mganga, N.; Manoko, M.L.K.; Rulangaranga, Z.K. Classification of plants according to their heavy metal content around North Mara gold mine, Tanzania: implication for phytoremediation. *Tanzania Journal of Science*. **2011**, 37, 109–119, doi.org/10.4314/tjs.v37i1.
(37) Готвянська, В.О.; Демура, В.І. Розподіл та накопичення важких металів в грунтово-рослинному покриві в умовах техногенного впливу. *Вісник Дніпропетровського університету*. **2013**, 21(15), 112–115.
(38) Демура, В.І.; Готвянська, В.О.; Павличенко, А.В. Розподіл та накопичення важких металів в рослинах та ґрунтах на територіях розміщення відходів вуглевидобутку. *Геотехнічна механіка*. **2013**, 111, 23–29.
(39) Довгопола, К.А. Екологічна оцінка вмісту важких металів у ґрунті та Trifolium pratense L. *Проблеми екологічної біотехнології*. **2016**, № 1, 1–7.
(40) Киричук, Г.Є.; Перепелиця, Л.О.; Перепелиця, І.П.; Козаченко, М.С. Особливості біологічної акумуляції важких металів рослинністю в умовах антропогенного тиску. *Наукові записки Тернопільського нац. пед. У-ту ім. Володимира Гнатюка*. **2011**, № 4 (49), 60–66.
(41) Довганич, Н.В. Оцінка ступеня забруднення цинком системи ґрунт–вода–рослина території Бурштинської теплоелектростанції та зони активного її впливу. *Ґрунтознавство*. **2011**, 12, No3–4, 49–54.
(42) Yoon, J.; Cao, X.; Zhou, Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *The Science of the total Environment*. **2006**, 368, 456–64, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016.
(43) Küpper, H.; Andresen, E. Mechanisms of metal toxicity in plants. *Metallomics: integrated biometal science.* **2016***,* 8(3), 269–285, doi.org/10.1039/c5mt00244c.
(44) Bidar, G.; Garçon, G.; Pruvot, C.; Dewaele, D.; Cazier, F.; Douay, F.; Shirali, P. Behavior of Trifolium repens and Lolium perenne growing in a heavy metal contaminated field: Plant metal concentration and phytotoxicity. Environmental pollution, **2007**, 147(3), 546–553, doi.org/10.1016/j.envpol.2006.10.013.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У ЗБІРНИКУ НАУКОВИХ ПРАЦЬ «ACTA BIOLOGICA UKRAINICA»

ТИПИ СТАТЕЙ

– дослідницька стаття
– оглядова стаття
– коротке повідомлення

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Дослідницька стаття

За структурою дослідницька стаття має відповідати міжнародному стандарту IMRAD та містити такі обов'язкові елементи: Вступ, Матеріали та методи, Результати, Обговорення, Висновки, Література. Обсяг основного тексту дослідницької статті від 11 до 60 тисяч знаків з пробілами (анотація, список використаних джерел, таблиці та підписи до рисунків не враховуються). Бібліографічний список за обсягом не має перевищувати 80 джерел.

Назва статті. Якомога коротша, але достатня для розуміння змісту роботи, скорочення - тільки загальноприйняті. Слід уникати беззмістовних слів таких як «вивчення», «дослідження», «спостереження», тощо. Якщо йдеться про сполуку, біологічний вид, тощо – вкажіть їх в назві, якщо про країну чи регіон – теж. У перекладі заголовків статей англійською не повинно бути жодних транслітерацій, окрім неперекладних назв власних імен, приладів та інших об'єктів, що мають власні назви; також не використовується неперекладний сленг. Це стосується також анотацій і ключових слів.

Анотація. Структурована за стандартом IMRAD, передає структуру статті, доповнює назву, якомога стисла, завершена, без абревіатур, літературних посилань та ілюстраційних матеріалів. Обсяг української та англійської анотацій – 1800-2000 знаків (з пробілами) кожна.

Ключові слова. Не повторюють слова із назви, доповнюють та деталізують назву роботи; кількість ключових слів або словосполучень - 5-6.

Вступ висвітлює сучасний стан, та актуальність проблеми, показує місце дослідження в контексті відомого. Визначає важливість проблеми, новизну дослідження, наукову «прогалину», яку закриває представлене дослідження. У вступі слід визначити мету або робочі гіпотези (не більше трьох гіпотез на одну статтю). Вступ слід розпочати із загальної проблеми та перейти до вузької теми представленій в роботи. В останньому параграфі коротко описати що саме представлено в роботі, але не повторювати анотацію.

Матеріал та методи мають забезпечити відтворюваність експерименту та містити методи лабораторного експерименту або польового дослідження; обсяг використаних для аналізу даних (розмір вибірки); опис використаних статистичних процедур обробки даних із зазначенням спеціалізованих програм в яких виконано аналіз. Цей розділ має складатись з двох підрозділів, перший з яких описує зібраний матеріал або проведений експеримент, тоді як другий – методи аналізу. Перед вибором статистичної процедури аналізу даних рекомендовано перевіряти вибірки на підпорядкованість їх закону нормального розподілу.

Автори зобов'язані дотримуватись етичних норм при роботі з тваринами відповідно до Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідницьких або інших наукових цілей від 18.03.1986 р. (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137). Рецензенти звертатимуть увагу на дотримання авторами етичних норм при поводженні з тваринами, недотримання таких норм може бути підставою для відхилення рукопису.

Результати представляють лише опис та аналіз власних матеріалів, не змішані з дискусією, не містять посилань на літературу. Описуються лише основні результати (а не все що було зроблено), які відповідають меті дослідження або підтверджують/відхиляють робочу гіпотезу(и). Допускається використання не хронологічного, а логічного опису. Результати слід ілюструвати мінімально необхідними зведеними даними (вихідні дані або проміжні розрахунки можуть бути в додаткових матеріалах). Перед формуванням ілюстраційних матеріалів потрібно точно визначити, на яке з поставлених у роботі питань або гіпотез відповідатимуть та чи інша таблиця або рисунок. Надаються лише ті ілюстрації, що безпосередньо висвітлюють суть роботи. Таблиці не повинні дублювати вже наведені в тексті дані. Таблиці можуть бути також використані для синтезу не тільки числових, але й літературних даних.

Обговорення не повторює результатів, порівнює та обговорює отримані власні данні з літературними. Обговорення має бути стислим, максимально доводити правильність точки зору автора, узагальнюючи результати власних досліджень та дані інших авторів щодо підтвердження тієї чи іншої наукової гіпотези. Порядок викладення обговорення має йти від окремого до загального. Обговорення має відповідати меті або висунутим науковим гіпотезам, які окреслені у Вступі, а також не містити висновків, а лише підводити до них.

Висновки стисло характеризують основні результати описані в рукописі, без нумерації в довільній формі. Вони не містять текстових повторень, викладених у попередніх розділах роботи. Наприкінці цього розділу слід визначити перспективи подальших досліджень.

Подяки (за бажанням). Автор може висловити подяку допоміжному персоналу, студентам, своїм колега, всім тим, хто допомагав при зборі польових або експериментальних даних, надавав корисні поради, тощо, але не приймав активної участі у підготовці рукопису. У цьому розділі також надається інформація про джерела підтримки проведеного дослідження.

Внесок авторів (за бажанням). Надається опис внеску кожного співавтора у статтю.

Оглядова стаття

Оглядова стаття повинна мати обсяг основного тексту від 11 до 60 тисяч знаків з пробілами (анотація, список використаних джерел, таблиці та підписи до рисунків не враховуються). Бібліографічний список не має перевищувати 150 джерел, але й не може бути менше 60. Рукопис має містити такі структурні елементи: **вступ** з окресленням проблеми та описом останніх подій/досліджень, що визначає актуальність та **мету** наведеного огляду; стислі **інформативно пов'язані між собою розділи** із заголовками, що мають представляти осмислений автором(ами) синтез літератури та власних ідей; критичний аналіз опублікованих раніше праць за цією тематикою, із визначенням не вирішених проблем та питань; **висновки** з проведеного огляду і **перспективи подальших досліджень.** Оглядова стаття має містити **текстові бокси, рисунки або таблиці** з метою викладення основних концепцій або ідей роботи, огляду тематичних досліджень, деталізації підходів та методик. Анотації українською та англійською мовами структуровані та відповідають змісту рукопису, обсягом 1800-2000 знаків кожна.

Коротке повідомлення

У вигляді короткого повідомлення може бути опубліковано перші географічні знахідки видів; опис оригінальної методики, що не планується до патентування; констатація важливих, виняткових, неочікуваних випадків експериментальних досліджень.

Коротке повідомлення неструктуроване на розділи, але має містити основні елементи дослідницької статті (Вступ, Матеріали та методи, Результати, Обговорення, Висновки). Обсяг основного тексту до 10 тисяч знаків з пробілами (анотація, список використаних джерел, таблиці та підписи до рисунків не враховуються). Методологія має бути короткою, але достатньою для відтворення. Анотація подається лише англійською мовою обсягом 1800-2000 знаків, структурована та відповідає змісту повідомлення. Ключові слова - англійською мовою, кількістю 5-6 слів або словосполучень. Ілюстраційний матеріал у кількості не більше трьох елементів (таблиць, рисунків, текстових боксів). Бібліографічний список не більше 20 літературних джерел. **У одному номері публікується не більше трьох коротких повідомлень**.

Загальні рекомендації до статей

Виклад матеріалу рукопису має бути послідовним, логічно завершеним, із чіткими формулюваннями, що виключають подвійне тлумачення або неправильне розуміння інформації; мова тексту має відповідати літературним нормам, бути професійною і лаконічною. Автор зобов'язаний забезпечити високий науковий рівень викладеного матеріалу, повноту і системність висвітлення питання, достовірність результатів і даних, що наводяться, правильність цитування та посилань на літературні джерела. Бібліографічні посилання наводяться мовою оригіналу.

ОФОРМЛЕННЯ РУКОПИСУ

Для рукопису використовується формат А4 з полями по 2 см з усіх боків. Нумеруються сторінки та рядки (для полегшення процесу рецензування). Використовується шрифт Times New Roman, 14 пт, полуторний інтервал між рядками. Заголовок статті та структурні елементи рукопису розміщуються по центру, напівжирним, усі рядкові.

Перед заголовком у лівому куті розміщується УДК.

Після заголовку у наступник рядках, по центру:

– ПІБ автора(ів);
– установа;
– адреса установи (поштовий індекс, вулиця, місто, країна);
– електронна адреса автора;
– анотації 1800 знаків;
– ключові слова (*курсивом*).

Після анотацій з ключовими словами з абзацу викладається основний текст статті

Якщо стаття подається **українською мовою**, першою розміщується україномовна анотація з ключовими словами. Другою анотацією є англомовна анотація, перед якою вказується назва статті, прізвища та ініціали авторів, повна адреса та назва установи. Наприкінці анотації ключові слова англійською мовою.

Якщо стаття подається **англійською мовою**, першою надається англомовна анотація з ключовими словами. Другою анотація українською мовою з ключовими словами, перед якою вказується назва статті, прізвища та ініціали авторів, повна адреса та назва установи.

Анотації, ключові слова, основний текст статті, перелік літературних джерел мовою оригіналу вирівнюються по ширині.

При оформленні статті не припускається:
- підкреслювати заголовки, підписи і надписи;
- переносити слова в тексті статті;
- використовувати виноски.

ВИМОГИ ДО ІЛЮСТРАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Рисунки мають бути оригінальними, підписаними та послідовно пронумерованими арабськими цифрами: Рис. 1, Рис. 2. Номер рисунка та підпис розташовуються безпосередньо під рисунком. Ілюстрації мають бути підготовані та масштабовані так, щоб розміри букв тексту на ілюстраціях не перевищували розмір букв основного тексту статті більш ніж на 50%.

Таблиці повинні мати назву та бути послідовно пронумеровані арабськими цифрами: Таблиця 1, Таблиця 2. Номер та назва таблиці розташовуються безпосередньо над таблицями.

Текстові бокси призначені для пояснення основних понять, концепцій або ідей роботи, огляду тематичних досліджень, деталізації підходів та методик. Бокси повинні мати коротку назву (не більше 8 слів) та бути послідовно пронумеровані арабськими цифрами: Бокс 1, Бокс 2. Номер та назва текстового боксу розташовуються безпосередньо над ним. Бокси можуть містити невеличкі рисунки та таблиці, що позначаються римськими цифрами (наприклад Рис. I, Рис. II; Таблиця I, Таблиця II). Нумерація літератури наскрізна з урахуванням тексту та боксів. Обсяг тексту не більше 300 слів на бокс.

Всі ілюстраційні матеріали (рисунки, таблиці, текстові бокси) розміщуються в тексті рукопису після першого їх згадування.

Літературні джерела послідовно нумеруються арабськими цифрами в порядку появи в тексті статті і зазначаються верхнім регістром, вказуючи порядковий номер джерела (наприклад «…за загальноприйнятими методиками[3-5]…» або «…за Івановим[6]…»). Перелік літературних джерел мовою оригіналу подається в порядку їх нумерації після основного тексту статті з підзаголовком: «**Література**». Список літератури оформлюється відповідно до міжнародного стилю Американського хімічного товариства (ACS STYLE) рекомендованого Наказом МОН України №40 від 12.01.2017. Опис бібліографічного стилю наведено в методичних рекомендаціях Української бібліотечної асоціації (Боженко, О.; Корян, Ю.; Федорець, М. *Міжнародні правила цитування та посилання в наукових роботах: методичні рекомендації*; Українська бібліотечна асоціація: Київ, 2016.). Звертаємо вашу увагу, що у відповідності до ACS стилю бібліографічні посилання мають наводитись із зазначенням DOI. При оформленні бібліографії рекомендовано використовувати **бібліографічні менеджери**, такі як Mendeley (https://www.mendeley.com), EndNote, тощо.

Рукописи та супровідні документи приймає редакційна колегія в електронному вигляді (електронна пошта: editor@biology.journalsofznu.zp.ua)

Перелік обов'язкових документів:

1) Рукопис, що включає УДК, назву рукопису, ПІБ автора/ів, назву установи, електронну адресу автора відповідального за кореспонденцію, анотації (українську та англійську), основний текст роботи з ілюстраційними матеріалами, подяки (за необхідності), бібліографію (у форматі doc, docx) надсилається електронною поштою. Назва файла повинна містити транслітероване прізвище першого автора: (приклад назви файлу: Ivanov_manuscript. doc, docx);

2) Допоміжні матеріали (за бажанням автора) з додатковими таблицями, рисунками, схемами, тощо (приклад назви файлу: Ivanov_suppl.pdf) для публікації електронного варіанту разом із статтею.

3) Лист на ім'я головного редактора (приклад назви файлу: Ivanov_letter.doc, docx) з такою інформацією:

– **відомості про автора** відповідального за кореспонденцію, що містить таку інформацію: прізвище, ім'я, по батькові (повністю); місце роботи або навчання; електронна адреса для листування; номер мобільного телефону;

– **декларацію автора** про таке:

– він є автором (співавтором) рукопису;

– прізвища всіх співавторів наведені в рукописі, і жодна особа, яка не є співавтором, до них не віднесена;

– усі співавтори ознайомилися з остаточним варіантом наукової роботи та дали свою згоду на її публікацію;

– авторські права цього рукопису не передані іншому видавцю;

– цей рукопис не був раніше опублікований і не буде опублікований у будь-якому іншому виданні;

– він не порушив права інтелектуальної власності інших осіб.

– **Відомості про трьох потенційних рецензентів** (прізвище, місце роботи, електронна пошта, контактний номер телефону) які мають бути з іншої установи ніж тієї де працюють автори, що подали роботу та мають задовольняти вимоги підпункту 6 пункту 6 Порядку формування Переліку наукових фахових видань України, а саме здійснювати дослідження за спеціальністю і мати за останні три роки не менше однієї публікації у виданнях, включених до Переліку, або закордонних виданнях, включених до Web of Science Core Collection та/або Scopus. З метою уникнення конфлікту інтересів автори, за бажанням, можуть надавити **прізвища небажаних рецензентів**, що враховується редколегією при виборі рецензентів. Якщо статтю подає один із членів редколегії, то список потенційних рецензентів повинен включати щонайменше 4-х фахівців.

– **Відомості про науковий напрям**, за яким подається рукопис відповідно до наведеного вище переліку.

Адреса та контактні дані:
Редакція журналу «Acta Biologica Ukrainica»,
вул. Жуковського, 66, корп. III, ауд. 308, Запоріжжя, Україна, 69600
Телефон: +38 066 53 57 687
Електронна пошта: editor@biology.journalsofznu.zp.ua
Офіційний сайт: www.journalsofznu.zp.ua/index.php/biology

Науковий журнал

Acta Biologica Ukrainica

№ 1, 2024

Комп'ютерна верстка – Н.С. Кузнєцова
Коректура – В.В. Ізак

Підписано до друку: 11.03.2024.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 7,91.
Замов. № 0324/209. Наклад 100 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
665101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.