

DOI: [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2022.1\(50\).259959](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2022.1(50).259959)

УДК 581.55+622.271.45+519.233.5 (477.63)

Ю.'В. Бєлик¹, аспірант

В.'М. Савосько², к.б.н., доцент

Ю. В. Лихолат¹, д.б.н., професор, завідувач кафедрою інтродукції та фізіології рослин

¹ Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, кафедра інтродукції та фізіології рослин, пр. Гагаріна 72, м. Дніпро, 49000, Україна, e-mail: belik.uliya@gmail.com, lykholat2006@ukr.net

² Криворізький державний педагогічний університет, кафедра ботаніки та екології, пр. Гагаріна 54, м. Кривий Ріг, 50086, Україна, e-mail: savosko1970@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНА ОБУМОВЛЕНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ЖИТТЄВОСТІ ТА ДЕНДРОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕНДРОФІТОЦЕНОЗІВ ПРИРОДНО ПОШИРЕНИХ НА ДЕВАСТОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЗАЛІЗОРУДНОГО ВІДВАЛУ

Показано, що деревні види рослин на теренах відвалу перебувають в стресовому стані, і тому втрачають стійкість та фітомеліоративну ефективність внаслідок постійного впливу несприятливих екологічних чинників. Встановлено, що таксономічна структура, життєвість та дендрометричні параметри дендрофітоценозів мають чітку екологічну детермінованість. Найбільш істотні кореляційні зв'язки спостерігалися між вмістом Pb, Zn, Cd, Fe в ґрунтах відвалу, а також тривалістю формування рослинного покриву й додатковим зволоженням ґрунту та показниками стану дендрофітоценозів.

Ключові слова: дендрофітоценоз; девастовані землі; залізрудний відвал; кореляційний аналіз; Криворіжжя.

В наш час в Україні та у Світі девастовані землі (відвали, кар'єри, промислові майданчики, хвостові й шламосховища) є надпотужним джерелом негативного впливу на стан довкілля промислових регіонів. Зокрема це: (i) забруднення повітря, ґрунту, поверхневих й підземних вод; (ii) поширення агресивних інвазивних видів рослин; (iii) зменшення біорізноманіття; (iv) деградація екосистем та втрата екосистемних послуг; (v) істотне зниження якості життя людини [8, 20, 22, 43]. Також слід наголосити, що площі таких земель постійно збільшуються і сягають вражаючих значень: у Світі біля 1,5 млн. га, в Україні – 500 тис. га, в Дніпропетровській області – 60 тис. га, в тому числі у Криворізькому гірничо-металургійному регіоні – 30 тис. га [1, 14, 16, 20, 34].

Ось чому так актуальна оптимізація девастованих земель, насамперед, шляхом створення на їх території дендрофітоценозів [8, 19, 26, 29, 30, 39]. На думку провідних експертів, саме деревні рослинні угруповання, навіть за умов

зміни клімату, характеризуються стійкістю до зовнішніх чинників, мають позитивні багатофункціональні властивості, тому істотним чином оздоровлюють навколишнє середовище промислових регіонів [7, 11, 13, 21]. Проте екологічні умови девастрованих земель є дуже складними й несприятливими для росту і розвитку дерев та чагарників [21, 22, 28, 41]. Однак незважаючи на це, на їх теренах спостерігається самовідновлення рослинного покриву, в тому числі за активної участі деревних видів рослин [27, 28, 44, 46]. При цьому на окремих ділянках деревні рослини сягають генеративного віку та виявляють здатність до насиненого розмноження [7, 11, 13, 20]. У зв'язку з цим, дуже важливим та перспективним є з'ясування екологічних закономірностей поширення деревних видів рослин на девастрованих землях.

Мета роботи – з позицій екосистемного підходу проаналізувати екологічну обумовленість показників сучасного стану (таксономічна структура, життєвість та дендрометричні параметри) дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях залізорудного відвалу.

Матеріали та методи досліджень

Матеріалами роботи слугували результати власних досліджень, які виконували упродовж 2017–2021 рр. на території девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу (Криворізький гірничо-металургійний регіон, Дніпропетровська обл., Україна).

Петровський відвал розташований в центральній частині Криворіжжя. Його відсіпка розпочалася наприкінці 50-х рр. та була завершена у середині 60-х рр. ХХ ст. У відвалі заскладовано понад 5,8 млн. м³ гірських порід: глини та суглинків, сланців та некондиційних кварцитів. Його параметри: довжина – 425 м, ширина – 375 м, висота – 48 м, площа – 15,94 га. Наразі не проведена рекультивація земель цього відвалу, а на його теренах відбувається відновлення рослинного покриву та ініціальне ґрунтоутворення [3, 14, 25].

За результатами наших попередніх досліджень, на девастрованих землях Петровського відвалу природно зростають 33 види дерев і чагарників, які належать до 26 родів та 15 родин. Серед них алохтонні види (59,4%), порівняно з автохтонними (40,6%), мають незначну перевагу. Провідними родинами визнані: розові (*Rosaceae* Juss.), вербові (*Salicaceae* Mirb.), кленові (*Aceraceae* Juss.), а також в'язові (*Ulmaceae* Mirb.) [3]. Також нами встановлено, що в ґрунтах відвалу та в листках дерев виявлена нестача біофільних елементів (фосфору і калію) та надмірний вміст важких металів (заліза, марганцю, пліумбуму і кадмію) [25, 40].

Маршрутно-рекогносцирувальним методом обстежено всю територію Петровського відвалу та закладено п'ять моніторингових ділянок (мінімальний розмір 150 м * 150 м), які мали чітку впорядкованість за тривалістю сукцесії деревної рослинності. Надалі в їх межах на площинах з максимальною контр-

астністю екологічних умов й густотою природних деревостанів долатково закладено п'ять дослідних ділянок (розміром 40 м * 50 м). Контрольні ділянки розташовані у природних угрупованнях Гурівського лісу (Долинський р-н, Кіровоградська обл.), які віддалені на 30 км від промислових підприємств.

На дослідних ділянках для кожного екземпляра деревної рослини з діаметром стовбуру понад 5 см: (i) встановлювали попередню видову приналежність, (ii) вимірювали висоту і діаметр стовбура [6, 45], (iii) визначали життєвість [2]. В камеральних умовах: (i) уточнювали видову назву дерев і чагарників [9], (ii) обчислювали абсолютні і відносні дендрометричні параметри [6, 45], (iii) розраховували показники життєвості деревостану [2]. Номенклатуру таксонів та їхню систематичну упорядкованість надано за С.Л. Мосякіним та М.М. Федорчуком [38]. Отримані результати опрацьовували математично з використанням методів і алгоритмів варіаційної та кореляційної статистик на 95% рівні значущості [15, 36].

Результати дослідження та їх обговорення

Ботаніко-екологічна характеристика дендрофітоценозів. В межах дослідних ділянок у складі дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях Петровського залізорудного відвалу, виявлено 22 види дерев та чагарників, які належать до 14 родів та 12 родин. При цьому, алохтонні види (63,6%), порівняно з автохтонними (36,4%), мають певну перевагу. Провідними родинами є вербові (*Salicaceae* Mirb.), кленові (*Aceraceae* Juss.) та в'язові (*Ulmaceae* Mirb.). Загальна флористична пропорція представлена співвідношенням 1:1, 1:1,7; родовий коефіцієнт – 1:1,4. Тобто, середня кількість родів у родині становить 1,1, видів у родині – 1,7, а у роді – 1,4. Такі невисокі значення вказують на значну кількість одновидових родів та розрізнений видовий склад рослинності [18, 24, 37]. Тобто, ці ділянки заселені деревами, які відносяться до родів, у складі яких переважно є лише один вид.

В умовах Петровського відвалу показники життєвості дендрофітоценозів флюктували від 55 умовних балів (у.б.) до 78 у.б. та в середньому становили 71 у.б. За таких чисельних значень життєвість деревостанів оцінено як «Ослаблена» [2]. При цьому найнижчі рівні життєвості характерні для крони (67–73 у.б.) та листя (64–75 у.б.), а найвищі – для гілок (64–78 у.б.). Стан компонентів рослин також є «Ослабленим». Доцільно зазначити, що рівні життєвості дендрофітоценозів на залізорудному відвалі були на 19–22% ($P < 0,05$) нижчі за контроль (природні угруповання заплавної лісу [20]).

Деревостани на девастрованих землях Петровського відвалу характеризуються наступними абсолютними дендрометричними параметрами: густина насаджень 170–270 шт/га, середня висота насаджень 3,5–6,3 м, середній діаметр стовбуру 6,5–12,5 см, запас стовбурної деревини 4,7–15,8 м³/га та сума поперечних перерізів 1,25–3,35 м³/га. Такі показники в 3,4–36,9 разів нижчі

за контроль ($P < 0,05$). Відносні дендрометричні параметри деревостанів сягали значень: висота насаджень $0,075\text{--}0,095 \text{ м} \cdot \text{рік}^{-1}$, діаметр стовбуру $0,145\text{--}0,255 \text{ см} \cdot \text{рік}^{-1}$, запас стовбурної деревини $0,105\text{--}0,275 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{рік}^{-1}$ та сума поперечних перерізів $0,025\text{--}0,070 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{рік}^{-1}$. Ці показники в 1,3–39,8 разів нижчі за контроль.

Кореляційні залежності. Між вмістом важких металів у ґрунтах девастрованих земель Петровського відвалу та таксономічними характеристиками дендрофітоценозів достовірні 15 коефіцієнтів кореляції Пірсона – 45,5% за 33 теоретично можливих (табл. 1).

Аналіз результатів статистичних розрахунків свідчить, що у 5 випадках математичні знаки коефіцієнтів кореляції вказують на прямий зв'язок ($r > 0$), тобто у разі зростання концентрацій металів у ґрунтах відбувалось збільшення кількості таксонів. Для 14 інших випадків, навпаки, простежувався зворотній кореляційний зв'язок ($r < 0$). Слід зазначити, що у всіх випадках наявний лише слабкий зв'язок ($0,2 < |r| < 0,5$). За вектором зменшення кількості випадків і силою кореляційного зв'язку показники упорядковувались у наступні ряди: (i) вміст важких металів – $\text{Zn} >> \text{Co} >> (\text{Cu} > > \text{Fe}) >> (\text{As} > \text{Mo}) >> \text{Cd} >> \text{Cr} >> (\text{Mn} > \text{Pb} > \text{Sn})$; (ii) таксономічні характеристики – кількість видів $>$ кількість родин $>$ кількість родів.

Встановлено, що існує достовірний кореляційний зв'язок між вмістом важких металів в ініціальних ґрунтах девастрованих земель Петровського відвалу та показниками життєвості деревних видів рослин (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції Пірсона залежностей характеристик дендрофітоценозів від вмісту важких металів у ґрунтах девастрованих земель залізорудного відвалу

Вміст важких металів в ґрунтах	Характеристики дендрофітоценозів						
	Кількість			Життєвість			
	Видів	Родів	Родин	Крони	Листя	Гілок	Рослини
As	-0,002	-0,281*	-0,380*	0,512*	-0,191	-0,607*	0,090
Cd	-0,500*	-0,177	-0,167	-0,924*	-0,490*	-0,360*	-0,614*
Co	0,408*	0,340*	0,153	0,193	-0,516*	-0,320*	-0,279*
Cr	0,276*	0,173	-0,022	0,181	-0,601*	-0,432*	-0,357*
Cu	0,009	-0,311*	-0,411*	0,581*	-0,166	-0,466*	0,081
Fe	0,474*	0,198	0,253*	0,912*	0,744*	0,337*	0,862*
Mn	-0,029	0,001	0,027	-0,144	0,012	0,618*	-0,219*
Mo	-0,033	-0,290*	-0,362*	0,485*	-0,101	-0,598*	0,164
Pb	-0,185	-0,007	-0,149	-0,616*	-0,865*	-0,508*	-0,815*
Sn	0,093	0,158	0,089	-0,056	-0,239*	-0,724*	0,014
Zn	-0,451*	-0,217*	-0,317*	-0,835*	-0,877*	-0,596*	-0,890*

Примітка: «*» – коефіцієнти кореляції Пірсона достовірні на рівні значущості $P < 0,05$.

За 44 теоретично можливих статистично значущими були 18 (або 72,7%) коефіцієнтів кореляції Пірсона між вмістом металів в ґрунтах та показниками життєвості деревних видів рослин. У 12 випадках кореляційний прямий, а для 20 інших випадків – зворотній. У 10 випадках кореляційний зв'язок слабкий, у 12 – середній ($0,5 < |r| < 0,7$), у 8 – сильний ($0,7 < |r| < 0,9$) та у 2 – дуже сильний ($|r| > 0,9$). За вектором зменшення кількості випадків і силою зв'язку встановлені такі ряди упорядкування: (i) вміст важких металів – $Zn \gg (Fe > Pb > Cd) \gg Cr \gg \gg (As > Co > Mo > Cu) \gg Sn > > Mn$; (ii) показники життєвості – життєвість гілок > життєвість крони >> життєвість листя > життєвість рослини.

Між вмістом важких металів у ініціальних ґрунтах девастрованих земель залізородного відвалу та абсолютними дендрометричними параметрами існує статистично значущий зв'язок (табл. 2).

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції Пірсона залежностей дендрометричних параметрів дендрофітоценозів від вмісту важких металів у ґрунтах девастрованих земель залізородного відвалу

Вміст важких металів в ґрунті	Дендрометричні параметри								
	Абсолютні					Відносні			
	N_{abs}	H_{abs}	D_{abs}	V_{abs}	G_{abs}	H_{rel}	D_{rel}	V_{rel}	G_{rel}
As	-0,546*	0,443*	0,596*	0,395*	0,416*	0,620*	0,599*	0,417*	0,405*
Cd	-0,132	0,019	-0,263*	-0,365*	-0,549*	-0,503*	-0,651*	-0,718*	-0,804*
Co	0,564*	-0,648*	-0,639*	-0,704*	-0,643*	-0,531*	-0,268*	-0,496*	-0,278*
Cr	0,468*	-0,590*	-0,527*	-0,656*	-0,571*	-0,405*	-0,129	-0,433*	-0,196
Cu	-0,355*	0,258	0,509*	0,317*	0,423*	0,625*	0,708*	0,478*	0,553*
Fe	-0,326*	0,491*	0,638*	0,787*	0,834*	0,727*	0,630*	0,894*	0,769*
Mn	0,893*	-0,861*	-0,644*	-0,560*	-0,311*	-0,382*	-0,023	-0,148	0,152
Mo	-0,697*	0,612*	0,722*	0,537*	0,514*	0,695*	0,592*	0,476*	0,394*
Pb	0,441*	-0,623*	-0,751*	-0,919*	-0,948*	-0,792*	-0,618*	-0,939*	-0,758*
Sn	-0,687*	0,626*	0,300*	0,213*	-0,081	-0,003	-0,331*	-0,241*	-0,510*
Zn	0,167	-0,373*	-0,539*	-0,751*	-0,832*	-0,662*	-0,595*	-0,907*	-0,804*

Примітки: абсолютні дендрометричні параметри: N_{abs} – густина насаджень, шт/га; H_{abs} – середня висота насаджень, м; D_{abs} – середній діаметр стовбуру, см; V_{abs} – запас стовбурної деревини, м³/га; G_{abs} – сума поперечних перерізів, м³/га; відносні дендрометричні параметри: H_{rel} – висота насаджень, м * рік⁻¹; D_{rel} – діаметр стовбуру, см * рік⁻¹; V_{rel} – запас стовбурної деревини, м³/га * рік⁻¹; G_{rel} – сума поперечних перерізів, м³/га * рік⁻¹; «*» – коефіцієнти кореляції Пірсона достовірні на рівні значущості $P < 0,05$.

Між вмістом металів у відвалу та абсолютними дендрометричними параметрами достовірні 51 коефіцієнт кореляції Пірсона, або 92,7% за 55 теоретично можливих. У 23 випадках вони підтверджують наявність прямого зв'язку, а для 28 інших випадків, навпаки, простежувався зворотній зв'язок.

Аналіз отриманих результатів, що у 17 випадках між вмістом важких металів у ґрунтах відвалу та абсолютними дендрометричними параметрами наявний слабкий кореляційний зв'язок, у 23 – середній, у 9 – сильний та у 2 – дуже сильний.

За вектором зменшення кількості випадків і сили зв'язку показники розташовувалися у такі способи: (i) вміст важких металів – Pb >> (Mn>Co>Fe>Mo) >> Cr >> >> (Zn>As) >> (Cu>Sn) >> Cd; (ii) абсолютні дендрометричні параметри – запас стовбурної деревини > середній діаметр стовбуру > сума поперечних перерізів > середня висота насаджень > густина насаджень.

Встановлено, що між вмістом важких металів у ініціальних ґрунтах відвалу та відносними дендрометричними параметрами статистично достовірні 38 коефіцієнти кореляції Пірсона, або 86,7% за 44 теоретично можливих. У 16 випадках вони маніфестують наявність прямого зв'язку, у інших 22 – зворотного. У 13 випадках кореляцій зв'язок слабкий, 14 – середній, 9 – сильний та 2 – дуже сильний. За вектором зменшення кількості випадків і сили зв'язку виявлені наступні упорядкування: (i) вміст важких металів – Pb >> (Fe>Zn) >> Cd >> Cu >> >> (Mo>As) >> Co >> >> Sn >> Cr >> Mn; (ii) відносні дендрометричні параметри: запас стовбурної деревини > висота насаджень > сума поперечних перерізів > діаметр стовбуру.

Геологічна, геоморфологічна, гео- педогео- біогео- хімічна та хронологічна контрастність девастрованих земель Петровського залізрудного відвалу дозволила нам розташувати дослідні ділянки в чіткій послідовності – екологічні серії (екосерії). Підставою для такого упорядкування слугували вектори впливу окремих екологічних факторів. Перший з таких факторів – це тривалість формування рослинного покриву, що зумовлюється технологією формування відвалу, зокрема, послідовністю відсіпки окремих його ділянок. Другий фактор – температура атмосферного повітря як наслідок нерівномірного розподілу сонячного освітлення територій різних експозицій. Третій фактор – це додаткове зволоження ґрунту, що залежить від геоморфологічно обумовленого перерозподілу атмосферних опадів.

Загалом, використовуючи екосерії та упорядкування ботанічних характеристик й дендрометричних параметрів деревостанів були розраховані рангові коефіцієнти кореляції Спірмена.

Результати статистичних розрахунків довели, що між екологічними умовами девастрованих земель Петровського відвалу та характеристиками природних дендрофітоценозів існує достовірний кореляційний зв'язок (табл. 3).

Статистично достовірними виявилися: для показників таксономічної структури 6 коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена (66,7% від теоретично

можливих), для показників життєвості – 9 (75,0%). Математичні знаки цих коефіцієнтів вказують на домінування зворотного зв'язку: 4 випадки для таксономічної структури та 5 – для показників життєвості деревостану. За силою найбільш поширені випадки слабого та середнього кореляційного зв'язку: 3 і 2 та 5 і 3, відповідно, для таксономічної структури та життєвості. Лише по одному випадку зв'язок був сильний. У межах матриці не виявлено випадків дуже сильного зв'язку.

Таблиця 3

Коефіцієнти рангової кореляції Спірмена залежностей характеристик дендрофітоценозів від екологічних умов дегазованих земель залізорудного відвалу

Екологічні умови дегазованих земель відвалу	Характеристики дендрофітоценозів						
	Кількість			Життєвість			
	Видів	Родів	Родин	Крони	Листя	Гілок	Рослини
Тривалість формування рослинного покриву	-0,050	-0,550	-0,700*	0,250*	-0,200*	0,100	-0,500*
Температура атмосферного повітря	0,050	-0,550*	-0,250*	0,350*	-0,700*	-0,900*	-0,500*
Додаткове зволоження ґрунту	0,350*	0,250*	0,100	0,250*	0,000	0,300*	0,100

Примітка: «*» – коефіцієнти рангової кореляції Спірмена достовірні на рівні значущості $P < 0,05$.

За вектором зменшення кількості випадків і сили зв'язку виявлені наступні закономірності. Ряди упорядкування залежностей таксономічної структури були такі: (і) екологічні умови дегазованих земель відвалу – тривалість формування рослинного покриву > температура атмосферного повітря > > додаткове зволоження ґрунту; (ii) таксономічні характеристики – кількість родів > кількість родин > кількість видів.

Ряди упорядкування залежностей показників життєвості мали такий вигляд: (і) екологічні умови дегазованих земель відвалу – температура атмосферного повітря > тривалість формування рослинного покриву > > додаткове зволоження ґрунту; (ii) показники життєвості – життєвість гілок > життєвість рослини > > життєвість листя > життєвість крони.

Встановлено, що між абсолютними й відносними дендрометричними параметрами природних дендрофітоценозів та екологічними умовами дегазованих земель залізорудного відвалу існує статистично достовірний кореляційний зв'язок (табл. 4). При цьому, для абсолютних дендрометричних параметрів деревостанів достовірними є 12 коефіцієнтів кореляції рангової кореляції Спірмена, або 90,0% за 15 теоретично можливих та для відносних дендрометричних

параметрів – 10 коефіцієнтів за 12 можливих (83,3%). Математичні знаки коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена вказують на переважання зворотного кореляційного зв'язку: 9 випадків для абсолютних та 8 випадків для відносних дендрометричних параметрів. Встановлено, що у 4 випадках наявний слабкий кореляційний зв'язок, у 5 – середній та у 4 – сильний. Для відносних дендрометричних параметрів з'ясовані такі особливості: у 7 випадках зв'язок слабкий, у 3 – середній.

За вектором зменшення кількості випадків і сили кореляційного зв'язку встановлено наступне. Ряди упорядкування залежностей абсолютних дендрометричних параметрів мали такий вигляд: (i) екологічні умови девастрованих земель відвалу – додаткове зволоження ґрунту > тривалість формування рослинного покриву > температура атмосферного повітря; (ii) дендрометричні параметри – (густота насаджень > середній діаметр стовбуру) >> (середня висота насаджень > запас стовбурної деревини) >> сума поперечних перерізів. Ряди упорядкування залежностей відносних дендрометричних параметрів були наступні: (i) екологічні умови девастрованих земель відвалу – додаткове зволоження ґрунту >> (тривалість формування рослинного покриву > температура атмосферного повітря); (ii) дендрометричні параметри – (висота насаджень > діаметр стовбуру > запас стовбурної деревини) >> сума поперечних перерізів.

Таблиця 4

Коефіцієнти рангової кореляції Спірмена залежностей дендрометричних параметрів дендрофітоценозів від екологічних умов девастрованих земель залізорудного відвалу

Екологічні умови девастрованих земель	Дендрометричні параметри								
	Абсолютні					Відносні			
	N_{abs}	H_{abs}	D_{abs}	V_{abs}	G_{abs}	H_{rel}	D_{rel}	V_{rel}	G_{rel}
Тривалість формування рослинного покриву	0,600*	-0,900*	-0,700*	-0,600*	-0,200*	-0,200*	0,200*	-0,200*	0,100
Температура атмосферного повітря	-0,400*	0,100	0,300*	-0,100	-0,300*	-0,200*	0,200*	-0,200*	0,100
Додаткове зволоження ґрунту	0,900*	-0,700*	-0,900*	-0,800*	-0,100	-0,600*	-0,600*	-0,600*	-0,500*

Примітки: абсолютні дендрометричні параметри: N_{abs} – густота насаджень, шт/га; H_{abs} – середня висота насаджень, м; D_{abs} – середній діаметр стовбуру, см; V_{abs} – запас стовбурної деревини, м³/га; G_{abs} – сума поперечних перерізів, м³/га; відносні дендрометричні параметри: H_{rel} – висота насаджень, м * рік⁻¹; D_{rel} – діаметр стовбуру, см * рік⁻¹; V_{rel} – запас стовбурної деревини, м³/га * рік⁻¹; G_{rel} – сума поперечних перерізів, м³/га * рік⁻¹; «*» – коефіцієнти рангової кореляції Спірмена достовірні на рівні значущості $P < 0,05$.

Екологічна детермінованість сучасного стану дендрофітоценозів. Як відомо, ріст та розвиток деревних видів рослин на девастрованих землях визначається інтегральним впливом факторів, які формують екологічні умови цих територій [4, 10, 23, 41]. При цьому, кожний екологічний фактор унікальний та незамінний, тобто, «нестача» одного фактору не може бути компенсована «надлишком» іншого екологічного фактору [5, 12, 17, 33]. Крім того, для окремого виду деревної рослини кожний екологічний фактор (екологічний чинник) має чіткі інтервали (зони) оптимуму, песимуму, життєздатності, спокою та життя, а також толерантності і екологічної валентності [11, 12, 23].

На нашу думку, провідними екологічними факторами окремої ділянки доцільно вважати такі чинники середовища, чисельні значення яких знаходяться на межі їх природної норми. Тобто, спостерігається або критичний дефіцит (нестача) або критичний профіцит (надлишок) певного екологічного фактору. Теоретичним базисом такої диференціації можна вважати закон мінімуму Юстуса Лібіха [17, 23, 34]. Однак практичне виявлення окремого провідного екологічного фактору, а також встановлення його кількісних характеристик потребує дотепних багаторічних спостережень та ретельних експериментальних досліджень. Також слід зазначити, що не завжди результати таких вишукувань дають відповідь на всі питання. Тому так актуально використання результатів «природного експерименту», щодо з'ясування екологічних закономірностей у самовідновленні рослинного покриву на девастрованих землях.

За сучасними уявленнями, до важких металів відносять хімічні елементи з металічними властивостями, що відповідають певним критеріям/обмеженням (за атомною масою, щільністю та положенням в періодичній системі). Також зазначається, що окремі важкі метали є біофільними елементами, в той час як інші є токсичними для живих організмів [31, 32, 42].

Нашими розрахунками підтверджено, що існує ймовірний зв'язок між вмістом важких металів в ініціальних ґрунтах девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу та показниками сучасного стану дендрофітоценозів, природно поширених на його теренах. При цьому, достовірними, від теоретично можливих, виявилися 45,5–92,7% коефіцієнтів кореляції Пірсона. Також слід зазначити, що за напрямком незначна перевага спостерігається для зворотного зв'язку – 54,9–66,7% від кількості достовірних коефіцієнтів. Домінування такого напрямку зв'язку мало місце для вмісту у ґрунтах наступних металів: Cd, Co, Cr, Mn, Pb, Sn та Zn. В більшості випадків це фітотоксичні елементи. Прямий зв'язок притаманний для концентрацій у ґрунтах переважно біофільних металів: As, Cu, Fe та Mo. За силою переважають випадки слабого та середнього кореляційного зв'язку – 70–100% від кількості достовірних коефіцієнтів.

Слід зазначити, що для майбутніх прогнозів стану дендрофітоценозів на девастрованих землях відвалів більш актуальними є випадки сильного (18–25%) та дуже сильного (3,9–6,3%) кореляційного зв'язку. Максимальні значення коефі-

цієнтів кореляції (за модулем) були встановлені для наступних випадків вмісту металів у ґрунтах: Cd – життєвість крони ($r = -0,924$); Fe – життєвість крони ($r = 0,912$); Pb – запас стовбурної деревини ($r = -0,919$); Pb – сума поперечних перерізів ($r = -0,948$); Pb – відносний запас стовбурної деревини ($-0,919$); Zn – відносний запас стовбурної деревини ($r = -0,948$). В подальшому доцільно проведення еколого-ботанічних досліджень щодо уточнення ефектів дії цих металів на деревні рослини.

Останнім часом набуває поширення використання в різноманітних екологічних дослідженнях результатів розрахунків рангових коефіцієнтів кореляції Спірмена. Серед основних переваг цієї статистики слід назвати те, що з її допомогою можна вимірювати зв'язок не тільки між якісними (описовими) ознаками, які проранжовано певним способом [15, 35].

Відповідно до результатів статистичних розрахунків, у 66,7–83,3% випадків між показниками екологічних умов девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу та характеристиками сучасного стану природних дендрофітоценозів існує достовірний кореляційний зв'язок. За напрямком певну перевагу мають випадки зворотного зв'язку – 55,6–80,0% від статистично достовірних коефіцієнтів. Домінування такого напрямку зв'язку виявлено для чинників тривалості формування рослинного покриву та температури атмосферного повітря. В той час як, для показників додаткового зволоження ґрунту, навпаки, є переважання прямого зв'язку. За силою переважають слабкий (33,3–70,0% від загальної кількості достовірних коефіцієнтів) та середній (30,0–33,3%) кореляційні зв'язки. Лише у 11,1–33,3% випадків наявний сильний зв'язок.

Слід зазначити, що максимальні значення коефіцієнтів кореляції мали місце між наступними екологічними умовами території залізорудного відвалу та абсолютними дендрометричними показниками: тривалість формування рослинного покриву – середній діаметр стовбуру ($r = -0,900$), додаткове зволоження ґрунту – густина насаджень ($r = 0,900$), додаткове зволоження ґрунту – середній діаметр стовбуру ($r = -0,900$). Таки кореляційні закономірності підтверджують наше попереднє припущення щодо локацій на девастрованих землях, перспективних для створення стійких деревно-чагарникових насаджень [20, 21, 35, 42].

Висновки

Деревні види рослин на девастрованих землях Петровського залізорудного відвалу перебувають в стресовому стані, що може спричинити передчасне старіння рослин і зменшення фітомеліоративних функцій. Таксономічна структура, життєвість та дендрометричні параметри дендрофітоценозів, природно поширених на території відвалу мають чітку екологічну детермінованість. Найбільш істотні кореляційні зв'язки ($p < 0,05$) спостерігалися між вмістом металів в ініціальних ґрунтах відвалу та показниками стану дендрофітоценозів були на-

ступними: вміст Pb – сума поперечних перерізів ($r = -0,948$), запас стовбурної деревини ($r = -0,919$) та відносний запас стовбурної деревини ($-0,919$); вміст Zn – відносний запас стовбурної деревини ($r = -0,948$); вміст Cd – життєвість крони ($r = -0,924$); вміст Fe – життєвість крони ($r = 0,912$). Максимальні значення коефіцієнтів кореляції мали місце між такими екологічними умовами території відвалу та абсолютними дендрометричними показниками: тривалість формування рослинного покриву – середній діаметр стовбуру ($r = -0,900$), додаткове зволоження ґрунту – густина насаджень ($r = 0,900$), – середній діаметр стовбуру ($r = -0,900$).

Стаття надійшла до редакції 27.04.2022

Список використаної літератури

1. Агаджанов М.Є. Геоінформативні критерії інформативно-ресурсної моделі / М.Є. Агаджанов // Геоінформатика. – 2011. – № 1. – С. 72–79.
2. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В.А. Алексеев // Лесоведение. – 1989. – № 04. – С. 51–57.
3. Белик Ю.В. Таксономічний склад та синантропна характеристика деревно-чагарникових угруповань Петровського відвалу (Криворіжжя) / Ю.В. Белик, В.М. Савосько, Ю.В. Лихолат // Екологічний Вісник Криворіжжя. – 2019. – Вип. 4. – С. 104–113. DOI: 10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2565
4. Бойко Т.О. Екологічне лісознавство / Т.О. Бойко, П.М. Бойко, Ю.В. Плугатар. – Херсон: Олді-плюс, 2019. – 268 с.
5. Голубець М.А. Середовищезнавство (інвайронментологія) / М.А. Голубець. – Львів: Манускрипт, 2010. – 176 с.
6. Гром М.М. Лісова таксація / М.М. Гром. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2007. – 416 с.
7. Данильчук Н.М. Жизненные формы тополя пирамидального (*Populus italica* (Du Roi) Moench) на карьерно-отвалных комплексах Криворожья / Н.М. Данильчук, И.И. Коршиков // Интродукция растений. – 2018. – № 1 (77). – С. 50–58.
8. Демидов А.А. Пространственная агроэкология и рекультивация земель / А.А. Демидов, А.С. Кобец, Ю.И. Грицан, А.В. Жуков. – Днепропетровск: Издательство «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.
9. Доброчаева Д.М. Визначник вищих рослин України / Д.М. Доброчаєва, М.І. Котов, Ю.Н. Прокудін, А.Ю. Барбарих. – Київ, Наукова думка, 1999. – 548 с.
10. Коваленко І.М. Екологія рослин нижніх ярусів лісових екосистем / І.М. Коваленко. – Суми: Університетська книга, 2015. – 360 с.
11. Коршиков И.И. Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан. – Донецьк: Цифрова типографія, 2012. – 280 с.
12. Краснов В.П. Фітогекологія з основами лісівництва / В.П. Краснов, З.М. Шелест, І.В. Давидова. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 478 с.
13. Красноштан О.В. Життєздатність рослин *Pinus pallasiana* D. Don і *Pinus sylvestris* L. на залізорудних відвалах Криворіжжя / О.В. Красноштан // Интродукция растений. – 2017. – № 2. – С. 73–79.
14. Куделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железнорудных горно-обогатительных комбинатов УССР / А.Д. Куделя. – Киев: Наукова думка, 1984. – 495 с.
15. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. – Москва: Высшая школа, 1990. – 352 с.
16. Малахов И.Н. Новая геологическая сила / И.Н. Малахов. – Кривой Рог: Отделение морской геологии и осадочного рудообразования, 2009. – 312 с.
17. Мусієнко М.М. Екологія рослин / М.М. Мусієнко. – Київ: Либідь, 2006. – 432 с.
18. Разумова С.Т. Екологія рослин з основами ботаніки та фізіології / С.Т. Разумова. – Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2013. – 197 с.
19. Савосько В.Н. Систематический анализ спонтанной дендрофлоры Жовтневого района г. Кривого рога / В.Н. Савосько, К.М. Алесеева // Питання біоіндикації та екології. – 2007. – Вип. 12, № 2. – С. 16–23.
20. Савосько В.М. Меліорація та фіторекультивация земель / В.М. Савосько. – Кривий Ріг: Видавництво «Діоніс», 2011. – 288 с.

21. Савосько В. Екологічна та геологічна зумовленість поширення дерев і чагарників на деєастованих землях Криворіжжя / В. Савосько, Ю. Лихолат, К. Домшина, Т. Лихолат // Journal of Geology, Geography and Geocology. – 2018. – № 27(1). – С. 116–130. DOI: 10.15421/111837
22. Савосько В. М. Апофітні та адвентивні деревні види на деєастованих землях гранітних кар'єрів Криворіжжя / В. М. Савосько, Ю. В. Лихолат, Ю. В. Бєлик, І. П. Григорюк // Біоресурси і природокористування. – 2019. – Том 11, № 1–2. – С. 14–25. DOI: 10.31548/bio2019.01.002
23. Слободян Т. О. Екологія рослин / Т. О. Слободян, С. М. Слободян. – Кіровоград: КОД, 2006. – 161 с.
24. Arabadzy-Tipenko L. I. Ecological and floristic characteristics of *Cyanophyceae* of Pryazovskyi National Nature Park / L. I. Arabadzy-Tipenko // Agrology. – 2020. – № 3(2). – P. 66–79. DOI: 10.32819/020009
25. Bielyk Yu. Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine) / Yu. Bielyk, V. Savosko, Yu. Lykholat, H. Heilmeier, I. Grygoryuk // E3S Web of Conferences. – 2020. – № 166. – 01011. DOI: 10.1051/e3sconf/202016601011
26. Boyce S. G. Ecology and reclamation of devastated land / S. G. Boyce // Forest Science. – 1975. – № 21 (1). – P. 44–45. DOI: 10.1093/forestscience/21.1.44
27. Bussotti F. Traditional and novel indicators of climate change impacts on European forest trees / F. Bussotti, M. Pollastrini // Forests. – 2017. – № 8. – P. 137. DOI: 10.3390/f8040137
28. Danilchuk N. M. Species of the genus *Populus* L. in landscaping of city parks and technogenic disturbed lands of Kryvyi Rih (Ukraine) / N. M. Danilchuk // Danish Scientific Journal (DSJ). – 2020. – № 42, Vol. 1. – P. 8–14.
29. Dement W. T. Plantation development and colonization of woody species in response to post-mining spoil preparation methods / W. T. Dement, Z. J. Hackworth, J. M. Lhotka, C. D. Barton // New Forests. – 2020. – № 51. – P. 965–984. DOI: 10.1007/s11056-019-09769-y
30. Hancock G. R. Geomorphic design and modelling at catchment scale for best mine rehabilitation – The Drayton mine example (New South Wales, Australia) / G. R. Hancock, J. F. Duque, G. R. Willgoose // Environmental Modelling & Software. – 2019. – № 114. – P. 140–151. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.12.003
31. Kabata-Pendias A. Trace elements from soil to human / A. Kabata-Pendias, A. B. Mukherjee. – Berlin: Springer Verlag, 2007. – 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1
32. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias. – Boca Raton: CRC Press, 2010. – 548 p. DOI: 10.1201/b10158
33. Kulhavy J. Forest ecology / J. Kulhavy, J. Suchomel, L. Mensik. – Brno: Mendel University in Brno, 2014. – 92 p.
34. Kvitko M. Woody artificial plantations as a significant factor of the sustainable development at mining & metallurgical area / M. Kvitko, V. Savosko, I. Kozlovskaya, Yu. Lykholat, A. Podolyak, I. Hrygoruk, A. Karpenko // E3S Web of Conferences. – 2021. – № 280. – 06005. DOI: 10.1051/e3sconf/202128006005
35. Maus V. A global-scale data set of mining areas / V. Maus, S. Giljum, J. Gutschhofer, D. M. da Silva, M. Probst, S. L. B. Gass, S. Luckeneder, M. Lieber, I. McCallum // Scientific Data. – 2020. – № 7. – P. 289. DOI: 10.1038/s41597-020-00624-w
36. McDonald J. H. Handbook of biological statistics / J. H. McDonald. – Baltimore: Sparky house publishing, 2014. – 450 p.
37. Melnychuk S. Floristic richness and taxonomic analysis of the flora of the national park «Biloberezhzha Svyatoslava» / S. Melnychuk, G. Trochymenko // ScienceRise: Biological Science. – 2017. – № 2(5). – P. 24–29. DOI: 10.15587/2519-8025.2017.99760
38. Mosyakin S. Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist / S. Mosyakin, M. Fedoronchuk. – Kyiv: M. G. Kholodny Institute of Botany National Academy of Sciences of Ukraine, 1999. – 369 p. DOI: 10.13140/2.1.2985.0409
39. Pietrzykowski M. Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences / M. Pietrzykowski // Ecological Engineering. 2019. – № 42. – P. 100012. DOI: 10.1016/j.ecoena.2019.100012
40. Savosko V. The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine) / V. Savosko, Yu. Bielyk, Yu. Lykholat, H. Heilmeier, I. Grygoryuk, N. Khromykh, T. Lykholat // Journal of Geology, Geography and Geocology. – 2021. – № 30 (1). – P. 153–164. DOI: 10.15421/112114
41. Savosko V. M. Foresting of technogenic devastated lands as an effective factor for environmental safety at the mining & metallurgical district / V. M. Savosko, Yu. V. Lykholat, Yu. V. Bielyk // Effects of pollution and climate change on the ecosystem components / Yu. V. Lykholat (ed.). – Praha: Oktan Print, 2021. – P. 6–39. DOI: 10.46489/EOPACC-1204211
42. Sparks D. L. Environmental soil chemistry / D. L. Sparks. – San Diego: Academic Press, 2002. – 368 p.

43. Stanturf J.A. Landscape degradation and restoration / J.A. Stanturf, M.A. Callaham, P. Madsen // Soils and landscape restoration / J.A. Stanturf, M.A. Callaham (eds.). – New York: Academic Press, 2021. – P. 1–37. DOI: 10.1016/b978-0-12-813193-0.00001-1
44. Vriens B. Mine waste rock: insights for sustainable hydrogeochemical management / B. Vriens, B. Plante, N. Seigneur, H. Jamieson // Minerals. – 2020. – № 10. – P. 728. DOI: 10.3390/min10090728
45. West P.W. Tree and forest measurement / P.W. West. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. – 217 p.
46. Xiao W. Tree species composition and selection effects drive overstory and understory productivity in reforested oil sands mining sites / W. Xiao, C. Chen, H. Y.H. Chen // Land Degradation & Development. – 2020. – № 32(3). – P. 1135–1147. DOI: 10.1002/ldr.3787

Ю. В. Бєлик¹, В. М. Савосько², Ю. В. Лихолат¹

¹Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, кафедра інтродукції та фізіології рослин, пр. Гагаріна 72, м. Дніпро, 49000, Україна, e-mail: belik.uliya@gmail.com, lykholat2006@ukr.net

²Криворізький державний педагогічний університет, кафедра ботаніки та екології, пр. Гагаріна 54, м. Кривий Ріг, 50086, Україна, e-mail: savosko1970@gmail.com

ЕКОЛОГІЧНА ОБУМОВЛЕНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ЖИТТЄВОСТІ ТА ДЕНДРОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕНДРОФІТОЦЕНОЗІВ ПРИРОДНО ПОШИРЕНИХ НА ДЕВАСТОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЗАЛІЗОРУДНОГО ВІДВАЛУ

Анотація

Вступ. Численні дослідники переконливо довели, що відвали залізних порід мають сильний і негативний вплив на навколишнє середовище в промислових зонах. У той час як відновлення рослинності дерев є найефективнішим, ефективним і широко прийнятним способом стабілізації довкілля в цих постгірничих формах рельєфу. Тому знання про взаємозв'язки між сучасним станом угруповання деревних рослин та суворими екологічними умовами на відвалах залізних порід відіграють важливу роль у контролі забруднення, екологічному захисті та охороні здоров'я людей.

Мета роботи – з позицій екосистемного підходу проаналізувати екологічну обумовленість показників сучасного стану (таксономічна структура, життєвість та дендрометричні параметри) дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях залізорудного відвалу.

Матеріал і методи. Для даного дослідження були обрані Петровські відвали порід Криворізького залізорудного гірничо-металургійного району (центральна частина України). Протягом 2017–2021 рр. в екосистемах сміттєзвалища було створено 5 дослідних ділянок (40*50 м) та зібрано польові дані (види дерев, життєздатність дерев, середній діаметр і висота дерев, об'єм, прикоренева площа) шляхом прямого перерахування та вимірювання всіх дерев на кожній ділянці. Застосовано кореляційний аналіз Пірсона та Спірмена між індексами поточного стану угруповання деревних рослин та параметрами екологічних умов відвалу (вміст важких металів у ґрунті, час формування угруповання, температура повітря та вологість ґрунту).

Результати. Показано, що на Петровському відвалі деревні породи рослин, як правило, піддаються впливу несприятливих факторів зовнішнього середовища

та знаходяться в стресовому стані. Тому вони втрачають екологічну стійкість і фітомеліоративну (меліоративну/відновлювальну) ефективність. Наші розрахунки підтверджують, що існує кореляція між вмістом важких металів у вихідному ґрунті відвалу та показниками сучасного стану угруповання деревних рослин. При цьому 45,5–92,7% коефіцієнти кореляції Пірсона є значущими $p < 0,05$ (від теоретично можливих). Відгук має незначну перевагу – 54,9–66,7% від кількості значущих коефіцієнтів. Переважає слабкий і середній співвідношення – 70–100% від кількості значущих коефіцієнтів. Встановлено, що існує кореляція між екологічними умовами спустошених земель на звалищі та характеристиками сучасного стану угруповання деревних рослин. Слід також зазначити, що 66,7–83,3% коефіцієнти кореляції Спірмена є значущими $p < 0,05$ (від теоретично можливих). Відгук також має невелику перевагу – 55,6–80,0% від кількості значущих коефіцієнтів. Як і в попередньому випадку, переважали слабкі та середні співвідношення – 30–70% від кількості значущих коефіцієнтів.

Висновок. Таксономічна структура, життєздатність дерев і дендрометричні параметри угруповання деревних рослин, які природно ростуть на залізному відвалі, мають чіткий екологічний детермінізм. Найсильніші кореляції спостерігалися між концентраціями Pb, Zn, Cd, Fe в ґрунтах відвалу, а також тривалістю формування рослинності, додатковою вологістю ґрунту та показниками сучасного стану угруповання деревних рослин.

Ключові слова: угруповання деревних рослин; залізний відвал; кореляційний аналіз; Криворізький район.

U. V. Belik, V. M. Savosko, U. V. Lykholat

¹Department of Physiology and Plant Introduction, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Gagarine Av., 49000, Dnipro, Ukraine; e-mail: belik.uliya@gmail.com, lykholat2006@ukr.net

² Department of Botany and Ecology, Kryvyi Rih State Pedagogical University, 56 Gagarin Av., 50086, Kryvyi Rih, Ukraine; e-mail: savosko1970@gmail.com

THE ECOLOGICAL CONDITIONALITY OF TREE VITALITY INDICATORS AND DENDROMETRIC PARAMETERS OF THE WOODY PLANTS COMMUNITY GROWING NATURALLY ON THE DEVASTATED LANDS IN IRON WASTE ROCK DUMP

Abstract

Introduction. Numerous researchers have convincingly proven that iron waste rock dumps have a strong and negative impact on the environment in industrial areas. While the tree revegetation is the most efficient, effective and widely accepted way for environmental stabilization of the said post-mining landforms. That's why the knowledge on relationships between the current state of woody plants community and the harsh environmental conditions on iron waste rock dumps play an important role in pollution control, ecological protection, and safe-guarding human health.

Aim. The object of this study was to analyze from the standpoint of an ecosystem approach the ecological conditionality of the current state (taxonomic structure, tree

vitality and dendrometric parameters) of the community of woody plants growing naturally on the devastated lands in iron waste rock dump.

Material and Methods. Petrovsky waste rock dump areas at Kryvyi Rih Iron Ore Mining & Metallurgical District (central part of Ukraine) were chosen for the present research. During 2017–2021, the 5 research plots (40*50 m) were established in the dump's ecosystems and the field data (tree species, tree vitality, mean diameter and height of trees, volume, basal area) were collected through direct enumeration and measurement of all trees in each plot. Pearson and *Spearman* correlative analysis between the indices of the current state of the woody plants community and the parameters of the dump's environmental conditions (the content of heavy metals in the soil, the time of the community formation, air temperature and soil moisture) was applied.

Results. It is shown that in Petrovsky waste rock dump the woody plant species are usually affected by adverse environmental factors and are in the state of stress. Therefore, they lose their ecological stability and phytomeliorative (reclamative / restorative) efficiency. Our calculations confirm that there is a correlation between the content of heavy metals in the dump's initial soil and indicators of the current state of the woody plants community. In this case, 45.5–92.7% Pearson correlation coefficients are significant $p < 0.05$ (from the theoretically possible ones). The feedback has a slight prevalence – 54.9–66.7% from the number of significant coefficients. The weak and medium relationship prevails – 70–100% from the number of significant coefficients. It is established that there is a correlation between the ecological conditions of the devastated land on the dump and characteristics of the current state of the woody plants community. It should also be noted that 66.7–83.3% Spearman correlation coefficients are significant $p < 0.05$ (from the theoretically possible ones). The feedback also has a slight prevalence – 55.6–80.0% from the number of significant coefficients. As in the previous case the weak and medium relationship predominated – 30–70% from the number of significant coefficients.

Conclusion. The taxonomic structure, tree vitality and dendrometric parameters of the community of woody plants that grow naturally on in iron waste rock dump have a clear ecological determinism. The most strong correlations were observed between the concentrations of Pb, Zn, Cd, Fe in the dump's soils, as well as the duration of vegetation formation, the additional soil moisture and indicators of the current state of the woody plants community.

Key words: woody plants community; iron waste rock dump; correlative analysis; Kryvyi Rih District.

References

1. Ahadzhanov M. E. (2011) «Geoinformation criteria for information-resource model of anthropogenic forms relief in Krivbasu» [«Heoinformatsiini kryterii informatschino-resursnoi modeli antropohennykh form reliefu Kryvbasu»], *Geoinformatics [Heoinformatyka]*, 1, pp 72–79.
2. Alekseev V. A. (1989) «Diagnostics of trees and stands vitality state» [«Dyahnostyka zhyznennoho sostoiannya derev i drevostoev»], *Forestry [Lesovedenye]*, 4, 51–57.
3. Bielyk Yu. V., Savosko V. M., Lykholat Yu. V. (2019) «Taxonomic composition and synanthropic characteristic of woody plant community on Petrovsky waste rock dumps (Kryvorizhzhya)» [«Taksonomichnyi sklad ta synantropna kharakterystyka derevno-chaharnykovykh uhrupovan Petrovskoho vidvalu (Kryvorizhzhia)»], *Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District [Ekolohichniy visnyk Kryvorizhzhia]*, 4, pp 104–113. DOI: 10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2565

4. Boiko T. O., Boiko P. M., Pluhatar Yu. V. (2019) *Ecological forestry* [Ekolohichne lisoznavstvo], Kherson, Oldiplius, 268 p.
5. Holubets M. A. (2010) *Environmental science* [Seredovysheznavstvo (invaironmentolohiia)], Lviv, Manuskrypt, 176 p.
6. Hrom M. M. (2007) *Forest Taxation* [Lisova taksatsiia], Lviv, RVV NLTU Ukrainy, 416 p.
7. Danilchuk N. M., Korshikov I. I. (2018) «Life forms of lombardy poplar (*Populus italica* (Du Roi) Moench) in quarry and dump complexes of Kryvyi Rih area» [«Zhiznennyye formy topolya piramidalnogo (*Populus italica* (Du Roi) Moench) na karerno-otvalnykh kompleksah Krivorozh'ya», *Plant introduction* [Introduktsiia roslin], 1(77), pp 50–58.
8. Demidov A. A., Kobec A. S., Grican YU. I., ZHukov A. V. (2013) *Spatial agroecology and land recultivation* [Prostranstvennaya agroekologiya i rekul'tivaciya zemel'], Dnepropetrovsk, Publishing House «Svidler A.L.», 560 p.
9. Dobrochaieva D. M., Kotov M. I., Prokudin Yu. N., Barbarykh A. Yu. (1999) The determinant of higher plants of Ukraine [Vyznachnyk vyshchyykh roslin Ukrainy], Kyiv, Naukova dumka, 548 p.
10. Kovalenko I. M. (2015) *Ecology of plants of the lower tiers of forest ecosystems* [Ekolohiia roslin nyzhnykh yarusiv lisovykh ekosstem], Sumy, Universytetska knyha, 360 p.
11. Korshikov I. I., Krasnoshtan O. V. (2012) *Viability of woody plants on iron waste rock dumps at Kryvyi Rih District* [Zhiznesposobnost' drevesnykh rasteniy na zhelezorudnykh otvalah Krivorozh'ya], Donec'k, Cifrova tipografiya, 280 p.
12. Krasnov V. P., Shelest Z. M., Davydova I. V. (2014) *Phytoecology with the basics of forestry* [Fitoekolohiia z osnovamy lisivnytstva], Kherson, OLDI-PLUS, 478 p.
13. Krasnoshtan O. V. (2017) «Vitality of *Pinus pallasiana* D. DON. and *P. sylvestris* L. in iron ore dumps of Kryvyi Rih ore dumps of Kryvyi Rih area» [«Zhyttiezdatnist roslin *Pinus pallasiana* D. DON. i *P. sylvestris* L. na zalizorudnykh vidvalakh Krivorizhzhia», *Plant introduction* [Introduktsiia roslin], 2, pp 73–79.
14. Kudelya A. D. (1984) *Complex use of mineral resources in iron mining and processing plant at USSR* [Kompleksnoe ispolzovanie mineralnykh resursov zhelezo-rudnykh gorno-obogatitelnykh kombinatov USSR], Kyiv, Naukova Dumka, 495 p.
15. Lakin G. F. (1990) *Biomtery* [Biometriya], Moscow, Higher School, 352 p.
16. Malahov I. N. (2009) *New geological force* [Novaya geologicheskaya sila], Kryvyi Rih, Department of Marine Geology and Sedimentary Mining, 312 p.
17. Musiienko M. M. (2006) *Plant ecology* [Ekolohiia roslin], Kyiv, Lybid, 432 p.
18. Razumova S. T. (2013) *Plant ecology with basics of botany and physiology* [Ekolohiia roslin z osnovamy botaniky ta fiziolohii], Odesa, Odessa State Ecological University, 197 p.
19. Savosko V. M., Alekseeva, K. M. (2007) «The systematical analyses of the natural dendroflora in Govtneviy region at Kryvyi Rih» [«Sistematcheskiy analiz spontannoy dendroflory Zhovtnevoogo rayona g. Krivogo roga», *Problems of Bioindication and Ecology* [Pytannia bioindykatsii ta ekolohii], 12(2), pp 16–23.
20. Savosko V. M. (2011) *Land melioration and phytorecultivation* [Melioratsiia ta fitorekultyvatsiia zemel], Kryvyi Rih, Dionis, 288 p.
21. Savosko V., Lykholat Yu., Domshyna K., Lykholat T. (2018) «Ecological and geological determination of trees and shrubs' dispersal on the devastated lands at Krivorizh'ya» [«Ekolohichna ta heolohichna zumovlenist poshyrennia derev i chaharnykyv na devastovanykh zemliakh Krivorizhzhia», *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27(1), pp 116–130. DOI: 10.15421/111837
22. Savosko V. M., Lykholat Yu. V., Bielyk Yu. V., Grygoryuk I. P. (2019) «Apophyte and adventives woody species in granite quarry devastated land at Kryvyi Rih district» [«Apofitni ta adventyvni derevni vydy na devastovanykh zemliakh hranitnykh karieriv Krivorizhzhia», *Biological Resources and Nature Management* [Bioresursi i prirodokoristuvannâ], 11(1–2), pp 14–25. DOI: 10.31548/bio2019.01.002
23. Slobodian T. O. Slobodian S. M. (2006) *Plant ecology* [Ekolohiia roslin], Kirovohrad, KOD, 161 p.
24. Arabadzy-Tipenko L. I. (2020) «Ecological and floristic characteristics of *Cyanophyceae* of Pryazovskyi National Nature Park», *Agrology*, 3(2), pp 66–79. DOI: 10.32819/020009
25. Bielyk Yu., Savosko V., Lykholat Yu., Heilmeier H., Grygoryuk I. (2020) «Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine)», E3S Web of Conferences, 166, 01011. DOI: 10.1051/e3sconf/202016601011
26. Boyce S. G. (1975) «Ecology and reclamation of devastated land», *Forest Science*, 21(1), pp 44–45. DOI: 10.1093/forestscience/21.1.44
27. Bussotti F., Pollastrini M. (2017) «Traditional and novel indicators of climate change impacts on European forest trees», *Forests*, 8, pp 137. DOI: 10.3390/f8040137

28. Danilchuk N. M. (2020) «Species of the genus *Populus* L. in landscaping of city parks and technogenic disturbed lands of Kryvyi Rih (Ukraine)», *Danish Scientific Journal*, 42(1), pp 8–14.
29. Dement W. T., Hackworth Z. J., Lhotka J. M., Barton C. D. (2020) «Plantation development and colonization of woody species in response to post-mining spoil preparation methods», *New Forests*, 51, pp 965–984. DOI: 10.1007/s11056-019-09769-y
30. Hancock G. R., Duque J. F., Willgoose G. R. (2019) «Geomorphologic design and modelling at catchment scale for best mine rehabilitation – The Drayton mine example (New South Wales, Australia)», *Environmental Modelling & Software*, 114, pp 140–151. DOI: 10.1016/j.envsoft.2018.12.003
31. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. B. (2007) *Trace elements from soil to human*, Berlin, Springer Verlag, 550 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1
32. Kabata-Pendias A. (2010) *Trace elements in soils and plants*, Boca Raton, CRC Press, 548 p. DOI: 10.1201/b10158
33. Kulhavy J., Suchomel J., Mensik L. (2014) *Forest ecology*, Brno, Mendel University in Brno, 92 p.
34. Kvitko M., Savosko V., Kozlovskaya I., Lykholat Yu., Podolyak A., Hrygoruk I., Karpenko A. (2021) «Woody artificial plantations as a significant factor of the sustainable development at mining & metallurgical areas», *E3S Web of Conferences*, 280, 06005. DOI: 10.1051/e3sconf/202128006005
35. Maus V., Giljum S., Gutschlofer J., da Silva D. M., Probst M., S. Gass L. B., Luckeneder S., Lieber M., McCallum I. (2020) «A global-scale data set of mining areas», *Scientific Data*, 7, pp 289. DOI: 10.1038/s41597-020-00624-w
36. McDonald J. H. (2014) *Handbook of biological statistics*, Baltimore, Sparky house publishing, 450 p.
37. Melnychuk S., Trochymenko G. (2017) «Floristic richness and taxonomic analysis of the flora of the national park «Biloberezhzhya Svyatoslava»», *ScienceRise Biological Science*, 2(5), pp 24–29. DOI: 10.15587/2519-8025.2017.99760
38. Mosyakin S., Fedoronchuk M. (1999) *Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist*, Kyiv, M. G. Kholodny Institute of Botany National Academy of Sciences of Ukraine, 369 p. DOI: 10.13140/2.1.2985.0409
39. Pietrzykowski M. (2019) «Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences», *Ecological Engineering*, 42, pp 100012. DOI: 10.1016/j.ecoena.2019.100012
40. Savosko V., Bielyk Yu., Lykholat Yu., Heilmeier H., Grygoryuk I., Khromykh N., Lykholat T. (2021) «The total content of macronutrients and heavy metals in the soil on devastated lands at Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine)», *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 30 (1), pp 153–164. DOI: 10.15421/112114
41. Savosko V. M., Lykholat Yu. V., Bielyk Yu. V. (2021) *Forestry of technogenic devastated lands as an effective factor for environmental safety at the mining & metallurgical district*. In: Effects of pollution and climate change on the ecosystem components, Lykholat Yu. V. ed., Praha, Oktan Print, pp 6–39. DOI: 10.46489/EOPACC-1204211
42. Sparks D. L. (2002) *Environmental soil chemistry*, San Diego, Academic Press, 368 p.
43. Stanturf J. A., Stanturf J. A., Callahan M. A., Madsen P. (2021) *Landscape degradation and restoration*. In: Soils and landscape restoration, Stanturf J. A., Callahan M. A. eds., New York, Academic Press, pp 1–37. DOI: 10.1016/b978-0-12-813193-0.00001-1
44. Vriens B., Plante B., Seigneur N., Jamieson H. (2020) «Mine waste rock: insights for sustainable hydrogeochemical management», *Minerals*, 10, pp 728. DOI: 10.3390/min10090728
45. West P. W. (2009) *Tree and forest measurement*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 217 p.
46. Xiao W., Chen C., Chen H. Y. H. (2020) «Tree species composition and selection effects drive overstory and understorey productivity in reforested oil sands mining sites», *Land Degradation & Development*, 32 (3), pp 1135–1147. DOI: 10.1002/ldr.3787