https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.02.090

Популяційна структура *Betula pendula* (*Betulaceae*) на залізорудних відвалах Криворіжжя

Іван І. КОРШИКОВ[1,2], Юлія М. ПЕТРУШКЕВИЧ[2]

[1]Криворізький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака 50, Кривий Ріг 50089, Україна
ivivkor@gmail.com
[2]Донецький ботанічний сад НАН України
вул. Маршака 16А, Кривий Ріг 50089, Україна
petrushkevitch.yulya@gmail.com

Korshykov I.I.[1,2], Petrushkevych Yu.M.[2] 2020. **Population structure of *Betula pendula* (*Betulaceae*) on iron ore mine dumps (tailings) of the Kryvyi Rih area.** *Ukrainian Botanical Journal*, 77(2): 90–103.

[1]Kryvyi Rih Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine
50 Marshaka Str., Kryvyi Rih 50089, Ukraine

[2]Donetsk Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine
16A Marshaka Str., Kryvyi Rih 50089, Ukraine

Abstract. The article presents the results of investigation of the population structure of *Betula pendula* at four iron ore mine dumps (tailings) of the Kryvyi Rih area, of the Northern and Central Mining-and-Processing combines (NorthMPC and CMPC). Totally, eleven population loci on the Petrivskyi and Avtomobilnyi dumps of the Pershotravnevyi quarry, dump No. 7 and Petrivskyi-2 dump of the Hleyuvatskyi quarry of CMPC were investigated. The area of population loci, number and density of different aged individuals in each locus, as well as their percentage for each dump were ascertained. The morphometric parameters of the largest trees of *Betula pendula* on the Petrivskyi dump and trees of the generative age in all population loci were studied. A high-level vitality state of adult (mature) individuals in all population loci has been noted. We observed frequent changes of life forms of *Betula pendula*: sprout-forming, trees with few trunks (up to 3) and multi-stemmed trees (more than 3 trunks) formed as a result of the development of additional trunks from resting or adventitious buds under specific conditions of iron ore dumps in the Kryvyi Rih area. One-sided, bilateral and versatile dominant directions of the spread of self-seedlings in various loci were revealed. An analysis of the age structure demonstrated that out of eleven population loci, ten are young, in six of them plants are capable of complete self-renewal; a single locus is ripening, in which only 58% of generative individuals can recover. According to results of the study of the vitality structure, eight population loci belong to the flourishing type and three – to the depressive one. It has been found that the vitality of individuals depends on the environmental conditions as well as physical and chemical properties of the substrate. Due to constant self-renewal and self-maintenance in all the eleven population loci, *Betula pendula* can form stable primary populations under extreme conditions and thus is perspective for recultivation of technogenically disturbed landscapes.

Keywords: *Betula pendula*, iron ore dumps, population locus, self-seedling, self-maintenance

Submitted 13 June 2019. Published 29 April 2020

© 2020 I.I. Korshykov, Petrushkevych Yu.M. Published by the M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

Коршиков І.І., Петрушкевич Ю.М. 2020. **Популяційна структура *Betula pendula (Betulaceae)* на залізорудних відвалах Криворіжжя.** *Український ботанічний журнал*, 77(2): 90–103.

Реферат. Наведено результати досліджень популяційної структури *Betula pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя, що належать до Північного та Центрального гірничо-збагачувальних комбінатів (ПівнГЗК та ЦГЗК). Всього було досліджено 11 популяційних локусів на чотирьох відвалах – Петрівському, автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру, відвалі № 7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК та на відвалі Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК. Встановлено площу популяційних локусів, кількість і щільність різновікових особин у кожному локусі та їхній відсоток на кожному відвалі. Вивчено морфометричні параметри найбільших за розміром дерев *B. pendula* на Петрівському відвалі та дерев у генеративній фазі в усіх популяційних локусах. Відмічено високий рівень життєвого стану дорослих особин у всіх 11 популяційних локусах. Зафіксовано, що нерідко у рослин *B. pendula* відбуваються зміни життєвої форми: поростеутворюючі, небагатостовбурові (з 2–3-ма стовбурами) та багатостовбурові дерева (більше 3-х стовбурів), які утворюються внаслідок розвитку нових структур (стовбурів та стовбурців) із сплячих або додаткових бруньок. Виявлено одно-, дво- та різносторонній домінуючі напрямки поширення самосіву в різних локусах. Аналіз вікової структури показав, що 10 з 11 популяційних локусів є молодими, у шести з них рослини здатні до повного самовідновлення та в єдиному, який є зріючим, підріст спроможний відновити лише 58% генеративних особин після їхнього відмирання. За результатами дослідження віталітетної структури, вісім популяційних локусів належать до процвітаючого типу, три – до депресивного. З'ясовано, що рівень життєвості особин залежить від умов існування та фізико-хімічних властивостей субстрату. Загалом, завдяки постійному самовідновленню і самопідтриманню, *Betula pendula* утворює в екстремальних умовах стійкі первинні популяції і є перспективним видом для рекультивації техногенно порушених ландшафтів.

Ключові слова: *Betula pendula,* залізорудні відвали, популяційний локус, самосів, самовідновлення

Вступ

Площа промислово порушених територій в Україні складає сотні тисяч гектарів, а у великих промислових регіонах, таких як Кривбас і Донбас, техногенні новоутворення – відвали, хвостосховища, кар'єри – є потужними осередками забруднення навколишнього середовища. У попередні роки рекультивації таких порушених земель у степовій зоні України постійно приділялась велика увага з боку держави, розроблялись стійкі моделі відновлення цих територій (Bekarevich et al., 2003). Переважна більшість таких моделей передбачала покриття техногенно порушених земель шаром ґрунту різної товщини з метою створення умов для проведення біологічної рекультивації. Наприклад, на техногенних ландшафтах степової зони сприятливі умови для заселення різних видів рослин створювали шляхом внесення шару насипного ґрунту не менше 120–180 см (Zverkovskiy, Tupika, 2003). Однак подібні заходи є доволі трудомісткими та потребують великих фінансово-матеріальних ресурсів.

Більш як сторічний безперервний активний розвиток гірничодобувної промисловості у Криворізькому залізорудному басейні призвів до формування великої за площею хаотично розкиданої техногенно порушеної зони, однією з найбільш складових якої є кар'єрно-відвальні утворення (Safonova, Reva, 2009; Babets, 2011). Часткове відновлення таких докорінно порушених територій можливе, в першу чергу, за допомоги цілеспрямованої біологічної рекультивації, яка в останні роки в Україні, порівняно з державами ЄС, майже не проводиться, а також внаслідок вільного спонтанного природного заростання. Цей важливий природний механізм формування біогеоценозів на великих за площею антропогенних новоутвореннях на сьогодні малодосліджений. Окремої уваги потребує колонізація деревними рослинами територій у степовій зоні. Цей процес спостерігається на Криворіжжі, незважаючи на довготривалі посухи, які супроводжують загальне потепління клімату.

Питаннями колонізації вищими рослинами відвалів Криворізького залізорудного басейну займаються більше 50 років (Dobrovolskyi et al., 1979; Reva et al., 1993; Pavlenko et al., 2017). Серед піонерних видів, які успішно колонізують техногенно порушені ландшафти Криворіжжя, виділяється *Betula pendula* Roth, що оселяється та щорічно утворює самосів навіть на тих територіях, де ще відсутні квіткові трав'яні рослини (Korshikov, Krasnoshtan, 2012). Тому з позицій експериментальної і промислової ботаніки вид *B. pendula* потребує досконалого вивчення для встановлення преадаптаційних механізмів життєздатності за вкрай екстремальних умов.

Проникнення *B. pendula* на залізорудні відвали почалось близько 30–40 років тому внаслідок широкого використання його в озелененні населених міст Кривбасу. Протягом останніх 20–30 років відбувається процес поселення, закріплення та розселення *B. pendula* на різних промислових відвалах Донбасу і Придніпров'я шляхом заносу плодів виду з насаджень, які знаходяться поблизу цих новостворених ландшафтів (Korshikov et al., 2012). В

інших промислових регіонах у межах природного та інтродукційного ареалу *B. pendula* є активним піонером на техногенно порушених територіях і характеризується швидкими темпами розвитку (Muzafarova, 2006; Vaht, 2010), що проявляється у відносно ранньому початку плодоношення при невеликій масі дерева (Evstigneev, Korotkov, 1992; Konysbaeva, Ormanbekova, 2013). Плоди цього виду, що мають хороші аеродинамічні властивості, за допомогою вітру поширюються на великі відстані по периметру території та потрапляють у субстрат. Насіння проростає, утворюючи щільний самосів на різних частинах відвалів (Kalashnikova, Migalina, 2012).

Деревні види, які здатні на промислових відвалах не лише рости на місці культивування, але й завдяки відсутності конкуренції та своїм біологічним особливостям стихійно розповсюджуватися й захоплювати нові ділянки, є більш корисними з практичної точки зору. Вони дуже важливі з позиції популяційної біології, адже за рахунок активного самовідновлення в екстремальних умовах докорінно техногенно змінених екотопів можуть формувати стійкі популяційні структури. Цими характеристиками відзначається й *B. pendula,* яка на залізорудних відвалах Криворіжжя є важливим елементом флори.

Для розуміння закономірностей формування та адаптації популяцій *B. pendula* в екстремальних умовах промислових відвалів першорядним є їхнє вивчення як базової елементарної одиниці в біологічній ієрархії (Zlobin, 2009). Дослідження популяційної структури дозволяє здійснити прогноз довготривалості існування та розвитку популяцій *B. pendula* за екстремальних умов відвалів, на які додатково накладаються несприятливі природно-кліматичні умови степового промислового регіону. Проведення таких досліджень необхідне для розкриття сутності популяційних процесів (Zlobin, 1989), що відбуваються на техногенно порушених територіях.

При дослідженні структури таких популяцій, які зазвичай ізольовані та малі за розмірами, важливим показником є віковий спектр, що засвідчує їхню здатність до компенсації втрат у часі й просторі, які зумовлені несприятливими змінами або екстремальним впливом гетерогенного та нестабільного еколого-едафічного середовища відвалів. Не менш важливим у розвитку популяції за

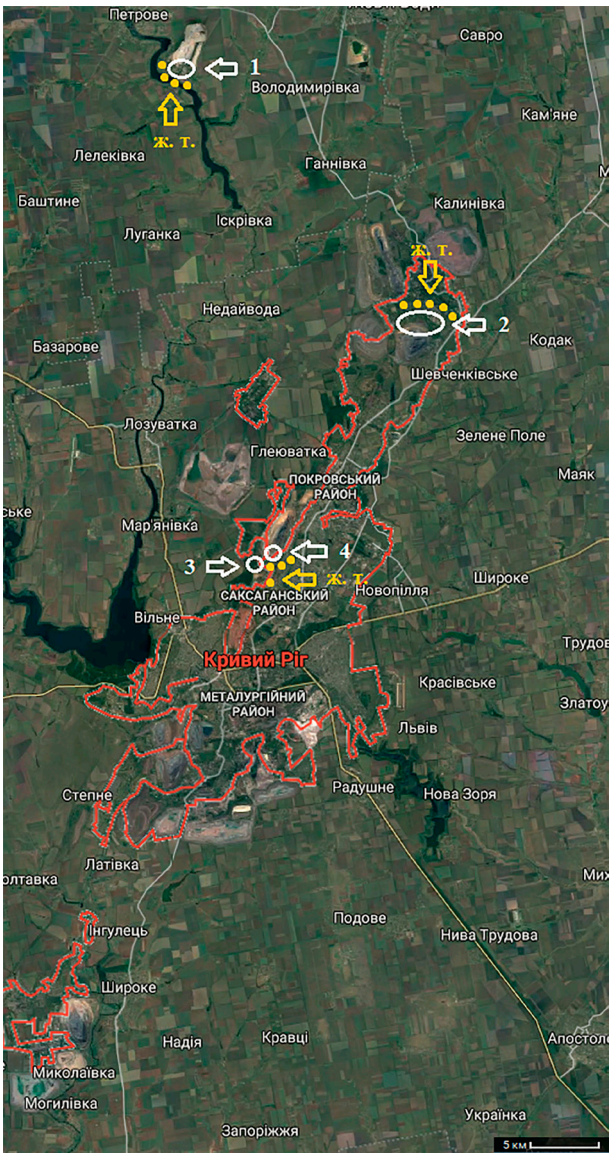

Рис. 1. Місця розташування досліджених залізорудних відвалів Криворіжжя: 1 – Петрівський відвал ЦГЗК; 2 – автомобільний відвал Першотравневого кар'єру ПівнГЗК; 3 – відвал № 7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК; 4 – відвал Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК; ж. т. – житлова територія (Google Maps, 2019)

Fig. 1. Locations of the iron ore mine dumps of the Kryvyi Rin area: 1– Petrivskyi dump, CMPC; 2 – Avtomobilnyi dump of Pershotravnevyi quarry, NorthMPC; 3 – No.7 of Hleyuvatskyi quarry, CMPC; 4 – Petrivskyi-2 dump of Hleyuvatskyi quarry, CMPC; ж. т. – residential area (Google Maps, 2019)

таких умов є наявність поліваріантності онтогенезу особин, які забезпечують стійкість популяцій рослин.

Метою роботи був аналіз популяційної структури *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя.

Таблиця 1. **Характеристика популяційних локусів *Betula pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя**
Table 1. **Characteristics of population loci of *Betula pendula* on iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area**

Відвал	Популяційні локуси	Площа території, га	Кількість різновікових особин	Місце зростання	Характеристика субстрату
Петрівський (ЦГЗК)	П1	0,14	97	плато 2 берми, північно-східна частина відвалу	крупноуламкові кварцити та пісковики
	П2	0,50	290	плато 3 берми, північна частина відвалу	сланці та пісковики
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру (ПівнГЗК)	П3	0,94	222	плато 2 берми, південно-східна частина відвалу	суміш сланців, дрібноуламкових кварцитів з елементами суглинистих ґрунтів
	П4	0,65	115	плато 3 берми, вершина відвалу	суміш сланців, дрібноуламкових кварцитів з елементами суглинистих ґрунтів
	П5	0,35	158	схил 3 берми, північно-західна частина відвалу	суміш сланців з дрібно- та середньоуламковими кварцитами
№7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П6	0,08	415	плато 1 берми, північна частина відвалу	суміш сланців з середньо- та крупноуламковими кварцитами
	П7	0,48	1507	плато 1 берми, західна частина відвалу	суміш сланців з середньо- та крупноуламковими кварцитами
	П8	0,20	549	схил 1 берми, східна частина відвалу	суміш сланців з середньо- та крупноуламковими кварцитами
Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П9	0,39	769	плато 1 берми, південна частина відвалу	суміш сланців з дрібно- та середньоуламковими кварцитами
	П10	2,73	322	плато 2 берми, північно-східна частина відвалу	суміш сланців з дрібно- та середньоуламковими кварцитами
	П11	0,39	91	плато 2 берми, північно-західна частина відвалу	суміш сланців з дрібноуламковими кварцитами

Матеріали та методи

Дослідження проводили в червні–липні 2016–2017 рр. на чотирьох великих (до 800 га) відвалах Криворізького залізорудного басейну – Північного та Центрального гірничо-збагачувальних комбінатів (ПівнГЗК та ЦГЗК відповідно), де ніколи не здійснювалися посадки *B. pendula* (рис. 1).

Загалом було обстежено 11 популяційних локусів *B. pendula* на Петрівському відвалі, автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру, відвалі № 7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК та на відвалі Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК (табл. 1). Ці локуси, або дискретні групи (Zhylyaev, 2010), є елементом загального популяційного поля *B. pendula.*

На досліджених відвалах ПівнГЗК, ЦГЗК субстрат складається в основному з кам'янистих порід різної щільності, серед яких переважають залізисті кварцити, меншою мірою – сланці (рис. 2), на Петрівському зустрічаються й граніти та пісковики (Safonova, Reva, 2009). *Betula pendula* заселяє навіть схили і берми, де поверхневий шар породи пройшов перші стадії фізико-хімічного вивітрювання. Термін з моменту припинення відсипки цих відвалів складає приблизно від 30 до 60 років (Holovenko, 2016).

Життєві форми описували за класифікацією Чистякової (Chistyakova, 1988). У кожному локусі встановлювали кількість особин, площу зайнятої території та щільність різновікового самосіву, яку визначали шляхом відношення кількості особин до одиниці площі (Zlobin, 2009). Життєвий стан (ЖС) дерев оцінювали за 5-бальною шкалою Алексєєва (Alekseev, 1990). Морфометричні параметри дерев визначали за стандартними методами. Діаметр стовбура та висоту дерев вимірювали за допомогою мірної вилки (з точністю до 0,5 см та ±5–8% відповідно). Площу проекції та об'єм крони встановлювали за математичними формулами, які описують їхню форму (Andreeva et al., 2002; Verkhunov, Chernykh, 2009). У найбільших за розмірами дерев підраховували кількість скелетних гілок з однієї сторони та по всій кроні.

Виділення вікових груп рослин проводили за класифікацією Работнова (Rabotnov, 1988) з доповненнями Уранова (Uranov, 1975), які були виражені в онтогенетичних спектрах (Zaugolnova, Smirnova, 1978). За методом Уранова (Uranov,

Рис. 2. Супутниковий знімок відвалу Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК (Google Maps, 2019)

Fig. 2. Satellite image of the Petrivskyi-2 mine dump of the Hleyuvatskyi quarry, CMPC (Google Maps, 2019)

1975) розраховували індекс віковості (Δ), індекс ефективності (ω) встановлювали за формулою Животовського:

$$\omega = \frac{\sum n_i e_i}{\sum n_i},$$

де n_i – абсолютна кількість рослин *i*-того вікового стану, e_i – табличне значення ефективності рослин *i*-того вікового стану, розраховане Животовським. Тип нормальних популяційних локусів *B. pendula* визначали на основі значень індексу віковості (Δ) та індексу ефективності (ω) за класифікацією "дельта-омега" (Δ/ω) (Zhivotovskiy, 2001).

Для оцінки динаміки самопідтримання в популяційних локусах використовували індекс відновлення Жукової (співвідношення кількості прегенеративних рослин до кількості генеративних особин ($J_в$)):

$$J_в = \frac{j + im + v}{g_1 + g_2 + g_3},$$

де *j, im, v,* g_1, g_2, g_3 – вікові стани (Zhukova, 1995).

Дослідження віталітетної структури проводили згідно до методики Злобіна (Zlobin, 1989), використовуючи розмірні характеристики дерев *B. pendula* генеративного віку за двома параметрами: висота дерева та діаметр стовбура на рівні 1,3 м. Спочатку значення ознак ранжували. Межі низького (c), середнього (b) і високого (a) класів віталітету знаходили за загальним середнім для сукупної вибірки та за допомогою довірчих інтервалів, встановлених за формулою:

$$x_{ср} \pm t_{0,05}{}^{S}x_{ср},$$

де $x_{ср}$ – середнє арифметичне, $t_{0,05}$ – значення критерію Стьюдента, ${}^{S}x_{ср}$ – помилка середнього арифметичного.

До високого класу (a) відносили особини зі значенням ознаки більш $x_{ср} + t_{0,05}{}^{S}x_{ср}$; середньому (b) класу відповідав вираз $x_{ср} \pm t_{0,05}{}^{S}x_{ср}$; низькому – $x_{ср} - t_{0,05}{}^{S}x_{ср}$. У складі кожного популяційного локусу встановлювали частку рослин *B. pendula* різних класів віталітету та оцінювали величину індексу якості (Q) за формулою:

$$Q = ½ (a+b),$$

де a – частка особин класу "a" віталітету, b – частка особин класу "b" віталітету.

Для встановлення ступеня процвітання або депресивності популяційних локусів використовували формулу Iq = (a+b)/2c. Популяційні локуси, в яких переважали особини вищого класу (Q = ½(a+b) > c) відносили до процвітаючих, при однаковому траплянні особин усіх класів (Q = 1/2(a+b) = c) – до рівноважних, а ті, в яких було більше рослин третього (c) класу віталітету (Q = 1/2(a+b) < c) – до депресивних (Zlobin, 1989).

Індекс віталітету (IVC) розраховували методом зважування середніх значень декількох ознак:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{Xi}{\overline{Xi}}}{N},$$

де Xi – середнє значення i-ї ознаки в популяційному локусі, $\overline{Xi}$ – середнє значення i-ї ознаки для всіх популяційних локусів, N – число ознак (Ishbirdin, Ishmuratova, 2004).

Результати підраховували в програмі MC Excel 2007 за допомогою математичних методів (Zaytsev, 1984).

Результати та обговорення

На чотирьох досліджених залізорудних відвалах Криворіжжя виявлено 11 локусів, або скупчень, від десятків до сотень різновікових рослин (рис. 3). Завдяки високій насіннєвій продуктивності й невеликій масі плоди *B. pendula* заносяться на відвали із насаджень житлових територій, що знаходяться

Рис. 3. Розселення *Betula pendula* на Петрівському відвалі

Fig. 3. Resettlement of *Betula pendula* on the Petrivskyi mine dump

поблизу цих новостворених ландшафтів (Korshikov, Krasnoshtan, 2012).

Площа популяційних локусів *B. pendula* на різних відвалах складала від 0,08 до 2,73 га, чисельність становила від 91 до 1507 особин, а щільність у межах локусів – від 1,2 до 51,9 особин на 100 м^2. Рослини *B. pendula* розселялися на різних частинах відвалів: на схилах, більш-менш вирівняних поверхнях, щілинах між великим камінням, в ямах тощо. Зростають рослини на вкрай неоднорідних за фізико-хімічним та механічним складом породах.

Кількість рослин, які досягли генеративного стану, на кожному із чотирьох відвалів варіювала від 36 (П8) до 166 шт. (П9). Найвищий відсоток дорослих особин *B. pendula* відмічено на відвалі Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК – 40,1%, на інших відвалах їхня частка була вдвічі меншою: на Петрівському – 20,5%, на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру – 20,1% та 19,3% – на відвалі № 7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК.

Окремі материнські особини *B. pendula* переважали у рості та розвитку над іншими рослинами та мали високі показники морфометричних параметрів. Так, наприклад, на Петрівському відвалі виявлено чотири таких дерева, діаметр стовбура біля кореневої шийки яких змінювався від 32,5 до 41,0 см, а на рівні 1,3 м – 21–25 см (табл. 2). Висота рослин сягала від 14,5 м (у дерева № 1) та майже до 17 м (у дерева № 4). Високими були значення показників крони: площа проекції – 56,7–122,7 м^2, а об'єм – 411,2–1011,9 м^3.

На Чернігівському Поліссі середні показники висоти 45-річних дерев *B. pendula* досягають 18,5 м, діаметра стовбура – 22,6 см (Tyschenko, 2018). В осиково-березових колках свіжуватого типу аренних лісів долини р. Самара дерева *B. pendula* висотою 15 м мають діаметр стовбура 24 см, а у колках вологого типу 25 м та 45 см відповідно (Loza, Bryhadyrenko, 2005). Слід відмітити, що показники морфометричних параметрів дерев *B. pendula*, які зростають на техногенно порушених ландшафтах Криворіжжя та у лісових умовах, мають близькі значення. Це свідчить

Таблиця 2. **Морфометричні параметри найбільших за розміром дерев *Betula pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя (Петрівський відвал)**
Table 2. **Morphometric parameters of the largest trees of *Betula pendula* on iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area (Petrivskyi dump)**

Дерева	D_0, см*	D_1, см	$h_д$, м	$S_{кр}$, м^2	$V_{кр}$, м^3	Кількість скелетних гілок у кроні	
						з однієї сторони	усіх гілок
№ 1	32,5	21,3	14,5	56,7	411,2	29	64
№ 2	34	25	16	63,6	508,7	30	74
№ 3	40	21	15	103,8	778,6	31	69
№ 4	41	24	16,5	122,7	1011,9	35	87

*тут і в табл. 3 використані наступні позначення: D_0 – діаметр стовбура на рівні кореневої шийки, D_1 – діаметр стовбура на рівні 1,3 м, $h_д$ – висота дерева, $S_{кр}$ – площа крони, $V_{кр}$ – об'єм крони.

Рис. 4. *Betula pendula* на Петрівському відвалі
Fig. 4. *Betula pendula* on the Petrivskyi mine dump

про те, що *B. pendula* характеризується високою пластичністю до специфічних умов зростання та не вимоглива до типу субстрату, тому на відвалах реалізує свої біологічні потенції в повній мірі.

У чотирьох досліджених дерев зафіксовано від 29 до 35 скелетних гілок з однієї сторони крони та в 2,2–2,5 рази більше усіх гілок. Скелетні гілки у цих дерев починають відростати одразу над кореневою шийкою (рис. 4), що забезпечує збільшення надземної частини рослини та загальної площі листків. За рахунок прилягання скелетних гілок до породи, на якій зростає *B. pendula,* випаровування вологи під кроною дерева відбувається менш інтенсивно, що сприяє більш тривалому її утриманню в субстраті.

У всіх 11 локусах виявлені рослини, які досягли генеративного віку. Вони відрізнялись за морфометричними показниками. Наприклад, діаметр стовбура дерев на рівні кореневої шийки варіював від 9,1 до 14,8, на рівні 1,3 м – від 3,9 до 8,7 см, а висота – від 4,5 до 8,6 м (табл. 3). Змінювалися й показники розміру крони: площа крони коливалася від 5,5 до 13,9 м^2, а об'єм – від 17,4 до 56,7 м^3.

У всіх 11 локусах ці рослини відзначалися високим рівнем життєвого стану, що дозволяє віднести деревні особини до категорії "здорові": на Петрівському відвалі цей показник становив 100% у двох локусах, на відвалах № 7 та Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК змінювався в межах 99,2–100%, а на автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру – від 86,5 до 100%.

На залізорудних відвалах Криворіжжя переважають одностовбурові особини *B. pendula*, однак нерідко трапляються рослини з іншими життєвими формами. Так, за класифікацією Чистякової (Chistyakova, 1988) виявлено поростеутворюючі (8 особин), небагатостовбурові (з 2–3-ма стовбурами) (31) та багатостовбурові (27) дерева *B. pendula.* Такі морфологічні видозміни є проявом поліваріантності індивідуального розвитку (Zaugolnova et al., 1988), вони утворюються внаслідок розвитку нових структур (стовбурів, стовбурців) із сплячих, або додаткових бруньок (Lvov, 1964; Chistyakova, 1988). Різні типи поліваріантності можуть відмічатися в одного виду як за різних еколого-ценотичних умов, так і в межах однієї популяції (Voronova et al., 1976). У результаті обмеженості ресурсів середовища насіннєва

Таблиця 3. **Морфометричні параметри дерев *Betula pendula* генеративного віку на залізорудних відвалах Криворіжжя**
Table 3. **Morphometric parameters of *Betula pendula* trees of generative age on iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area**

Відвал	Популяційні локуси	Кількість особин	D_0, см*	D_1, см	$h_д$, м	$S_{кр}$, м^2	$V_{кр}$, м^3
Петрівський	П1	44	12,3	8,7	7,8	9,7	37,5
	П2	130	13,6	8,0	8,6	11,4	56,7
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	П3	87	11,9	6,3	6,0	6,8	20,8
	П4	45	14,8	7,8	5,3	9,1	22,8
	П5	39	10,8	6,0	6,2	8,0	21,8
№ 7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П6	57	11,6	6,5	6,4	12,5	44,3
	П7	71	12,3	6,5	6,9	10,6	39,3
	П8	36	14,3	8,1	6,2	13,9	48,9
Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П9	166	11,8	4,8	5,4	8,0	27,4
	П10	120	9,1	4,3	4,5	5,5	17,7
	П11	55	9,7	3,9	4,7	5,8	17,4

продукція рослин виступає як альтернатива їхнього вегетативного росту. Взаємозв'язок вегетативної та репродуктивної маси досить складний і пояснюється як перерозподіл ресурсів між органами та як швидкість кореляції між вегетативним ростом та репродукцією, що проявляється як в онтогенезі, так і під впливом зовнішніх умов (Zaugolnova et al., 1988). Такі особливості розвитку визначають важливу адаптивну реакцію рослин до умов техногенно порушеного середовища (Martynyuk, 2008; Kalashnikova, Migalina, 2012).

На відвалах плоди від материнських дерев *B. pendula*, що досягли репродуктивного віку, поширюються в різні сторони і потрапляють у субстрат. За сприятливих умов насіння проростає, утворюючи самосів, який, за нашими спостереженнями, трапляється переважно на північній, західній та східній частинах відвалів, але значно зменшується на південній (рис. 5).

Домінуючий напрям поширення самосіву *B. pendula* в 11 локусах має різнонаправлений характер: односторонній (№ 4, 5, 7), двосторонній (№ 1, 2, 3, 11), різносторонній (№ 6, 8, 9, 10), він залежить від ефективності розповсюдження плодів на різну відстань, рози вітрів і мозаїчності едафічних умов.

Аналіз вікової структури в 11 популяційних локусах *B. pendula* показав, що на момент досліджень у них були відсутні старогенеративні, субсенільні та сенільні особини, як і в цілому у чотирьох популяціях (табл. 4). За класифікацією Работнова (Rabotnov, 1988) популяції П1–П10 характеризуються інвазійною популяційною структурою, в яких переважають особини прегенеративного віку і лише П11 – нормальний, в якому відмічено максимальний відсоток середньогенеративних рослин. Серед особин прегенеративного періоду *B. pendula* найбільше виявлено проростків: у 10 популяційних локусах (П1–П10) їхня частка становила 19,3–44,0%. В останньому локусі (П11) відсоток проростків був мінімальним – 4%. Слід відмітити, що в усіх популяційних локусах вочевидь переважають чотири вікові групи рослин: проростки, ювенільні, імматурні та середньогенеративні. Частка віргінільних рослин в 11 локусах варіює в межах 1,4–7,7%, а молодих генеративних дерев – 0,2–13,1%. У цілому це свідчить про нестабільний щорічний характер самовідновлення.

Високий відносний показник рослин прегенеративного періоду майже в усіх популяційних локусах вказує на те, що більшість з них, як і загальні популяції, є молодими. Це підтверджується значеннями індексів Уранова та Животовського: індекс віковості (Δ) варіював від 0,04 до 0,31, а індекс ефективності (ω) – від 0,13 до 0,67.

За класифікацією "дельта-омега" П1–П10 є молодими локусами, а П11 – зріючим. Як свідчать ці та попередні дослідження (Korshikov, Krasnoshtan, 2012), у поглибленнях із намивним дрібноземом, де умови для проростання насіння рослин сприятливіші, *B. pendula* утворює суцільний покрив з наступним проріджанням за рахунок механізмів конкурентної просторово-розмірної диференціації.

За індексом відновлення ($J_в$), запропонованим Жуковою (Zhukova, 1995), виявлено, скільки нащадків в даний момент часу доводиться на одну генеративну особину. Найвищі значення $J_в$ були зафіксовані в популяційному локусі П7 (10,89), що є наймолодшим за показниками індексів віковості та ефективності, а найменші – в П11 (0,58), що за класифікацією "дельта-омега" згідно до Животовського є зріючим (див. табл. 4). Загалом рослини *B. pendula* в шести популяційних локусах (П5–П10) здатні до повного

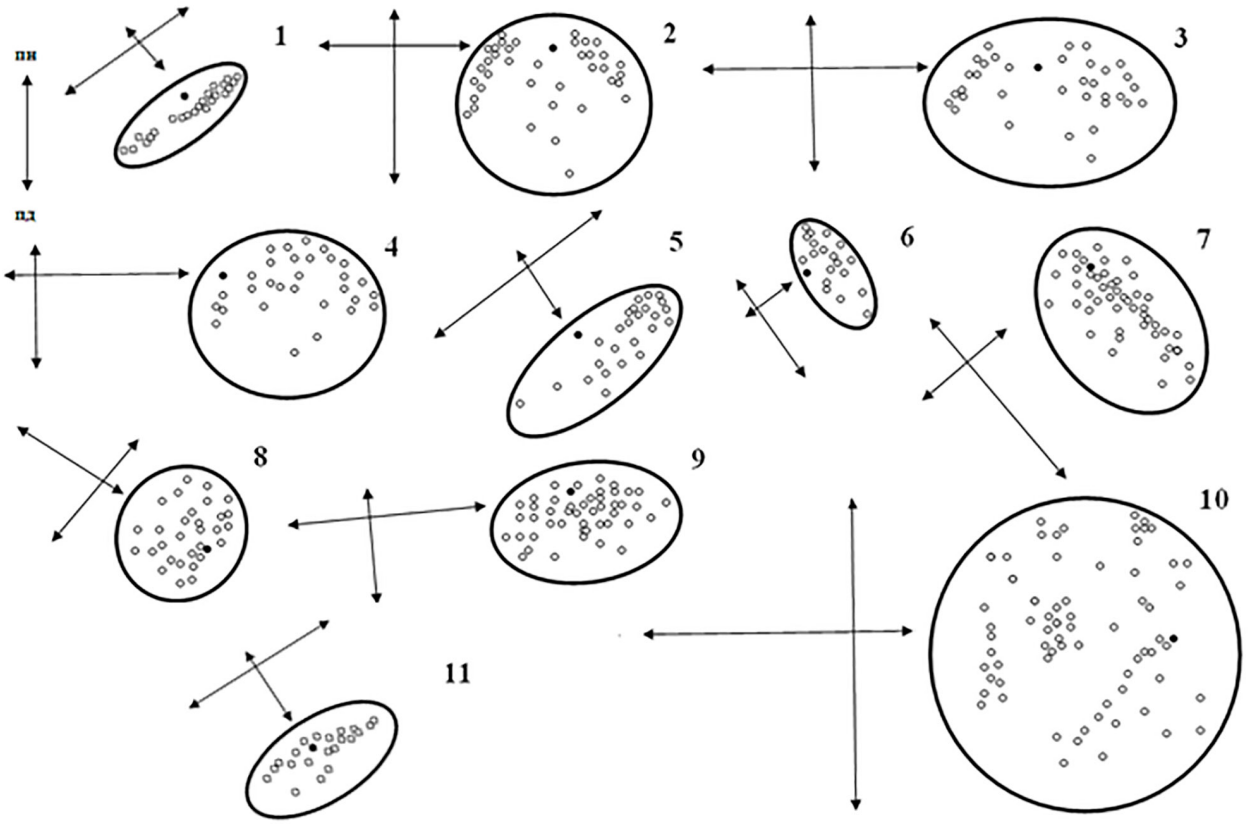

Рис. 5. Схема напряму поширення самосіву (◦) *Betula pendula* від материнських особин (•) у 11 популяційних локусах на залізорудних відвалах Криворіжжя: 1, 2 – Петрівському ЦГЗК; 3–5 – автомобільному відвалі Першотравневого кар'єру ПівнГЗК; 6–8 – відвалі № 7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК; 9–11 – на відвалі Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК

Fig. 5. Scheme of distribution directions of self-seedings of *Betula pendula* from maternal individuals in eleven population loci on iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area: 1, 2 – Petrivskyi dump, CMPC; 3–5 – Avtomobilnyi dump of Pershotravnevyi quarry, NorthMPC; 6–8 – No.7 dump of Hleyuvatskyi quarry, CMPC; 9–11 – Petrivsky-2 dump of Hleyuvatskyi quarry, CMPC

Таблиця 4. **Вікова структура *Betula pendula* у різних популяційних локусах на залізорудних відвалах Криворіжжя**
Table 4. **Age structure of *Betula pendula* in population loci on iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area**

Відвал	Популяційні локуси	Віковий спектр *Betula pendula* (у %) у популяційних локусах						Δ	ω	Δ/ω	*J*в
		*pl**	*j*	*im*	*v*	g_1	g_2				
Петрівський	П1	23,7	22,7	5,2	3,1	4,1	41,2	0,23	0,49	молодий	0,68
	П2	19,3	17,2	15,2	3,4	13,1	31,7	0,21	0,48	молодий	0,80
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	П3	26,1	25,7	5,4	3,6	1,8	37,4	0,21	0,44	молодий	0,89
	П4	27,0	20,0	10,4	3,5	4,3	34,8	0,20	0,44	молодий	0,87
	П5	27,2	20,9	22,8	4,4	3,8	20,9	0,14	0,32	молодий	1,95
№7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П6	39,7	25,8	19,3	1,4	0,5	13,3	0,09	0,21	молодий	3,39
	П7	44,0	28,6	19,0	3,7	0,2	4,5	0,04	0,13	молодий	10,89
	П8	42,6	34,6	12,4	3,8	0,6	6,0	0,05	0,14	молодий	7,75
Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П9	28,0	17,1	27,3	6,0	0,8	20,8	0,13	0,31	молодий	2,34
	П10	25,1	19,3	13,0	5,3	3,1	34,2	0,20	0,43	молодий	1,01
	П11	4,4	11,0	16,5	7,7	4,4	56,0	0,31	0,67	зріючий	0,58

* *pl* – проростки, *j* – ювенільні, *im* – імматурні, *v* – віргінільні, g_1 – молоді генеративні, g_2 – середньогенеративні рослини, Δ – індекс віковості, ω – індекс ефективності, Δ/ω – тип популяційного локусу за класифікацією "дельта-омега", *J*в – індекс відновлення.

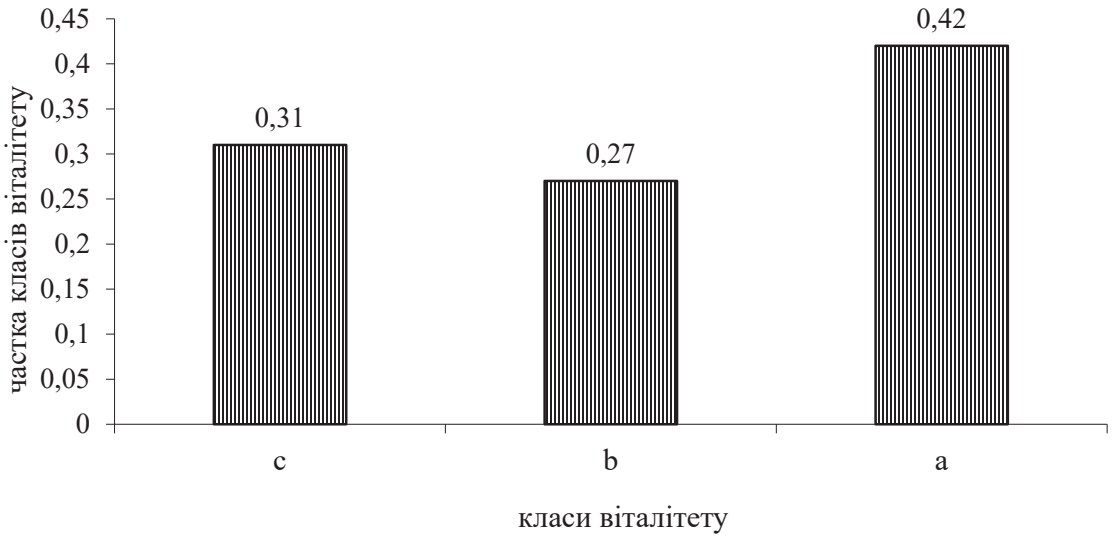

Рис. 6. Віталітетний спектр *Betula pendula* популяцій на залізорудних відвалах Криворіжжя: c – низький клас віталітету, b – середній, a – високий

Fig. 6. Vitality spectrum of *Betula pendula* populations on the iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area: c – low vitality class, b – medium, a – high

самовідновлення, в П1–П4 індекс самовідновлення становив 0,68–0,89, а в останньому (П11) – підріст спроможний відновити лише 58% генеративних особин після їхнього відмирання.

При дослідженні загального показника віталітетної структури для всіх локусів *B. pendula* встановлено, що більшість рослин на чотирьох залізорудних відвалах Криворіжжя мають високий рівень життєвості – 42%, а за індексом якості (Iq = 0,34) виявлено, що популяції належать до процвітаючого типу (рис. 6).

Оскільки в популяційних локусах, які є функціональними елементами популяцій, наявні специфічні мікроумови, вони не однаково оптимальні для колонізації особинами високої, середньої та низької життєвості, тому відрізняються за своїм віталітетним складом і типом (Zhilyaev, 2005).

У досліджених 11 популяційних локусах є особини всіх рівнів життєвості (табл. 5). Групи рослин, що досягли репродуктивного віку й характеризуються високим рівнем життєвості на залізорудних відвалах, слід розглядати за Г.Г. Жиляєвим (Zhylyayev, 2010) "консервативними центрами стабільності". За індексом якості (Q) встановлено, що 72,7% популяційних локусів *B. pendula* (П1–П8) належать

Таблиця 5. **Віталітетна структура *Betula pendula* у різних популяційних локусах на залізорудних відвалах Криворіжжя**
Table 5. **Vitality structure of *Betula pendula* in population loci on iron ore mine dumps of the Kryvyi Rih area**

Відвал	Популяційні локуси	Клас віталітету			Q	Iq	IVC	Віталітетний тип
		c	b	a				
Петрівський	П1	0,08	0,12	0,80	0,46	5,75	0,72	процвітаючий
	П2	0,25	0,22	0,53	0,38	1,50	0,70	процвітаючий
Автомобільний відвал Першотравневого кар'єру	П3	0,32	0,26	0,41	0,34	1,05	0,53	процвітаючий
	П4	0,29	0,40	0,31	0,36	1,23	0,56	процвітаючий
	П5	0,28	0,49	0,23	0,36	1,27	0,53	процвітаючий
№7 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П6	0,28	0,30	0,42	0,36	1,28	0,56	процвітаючий
	П7	0,30	0,25	0,45	0,35	1,19	0,58	процвітаючий
	П8	0,31	0,14	0,22	0,35	1,14	0,61	процвітаючий
Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК	П9	0,48	0,36	0,16	0,26	0,54	0,42	депресивний
	П10	0,67	0,13	0,20	0,17	0,25	0,38	депресивний
	П11	0,64	0,24	0,13	0,18	0,29	0,37	депресивний

* c – низький клас віталітету, b – середній, a – високий; Q – показник якості, Iq – ступінь процвітання, IVC – індекс віталітету

до процвітаючого типу та характеризуються найвищою життєвістю, а три (П9–П11) – депресивні. Найвищий ступінь процвітання при цьому був відмічений у П1, що знаходиться на Петрівському відвалі – Iq = 5,75, а найнижчий – у П10 на відвалі Петрівський-2 Глеюватського кар'єру ЦГЗК – Iq = 0,25, в якому рослини є найпригніченішими серед усіх популяційних локусів. Це, на нашу думку, може бути пов'язано з відмінностями в породному складі відвалів (див. табл. 1).

Індекс віталітету (IVC), який характеризує умови зростання, в усіх локусах був менше одиниці – від 0,72 (П1) до 0,37 (П11). Цей розрахунковий показник підтверджується біометричними даними рослин, які наведені у табл. 2. Отримані дані вказують на те, що життєвість особин залежить від умов існування та фізико-хімічних властивостей субстрату. Проте, незважаючи на неоднорідні й стохастичні еколого-едафічні умови на залізорудних відвалах Криворіжжя, в усіх 11 популяційних локусах відбувається самовідновлення і самопідтримання *B. pendula*, що свідчить про високу стійкість первинних популяцій цього виду за екстремальних умов.

Різновікові особини *B. pendula* в специфічних умовах залізорудних відвалів Криворіжжя характеризуються високим життєвим станом, вони навіть утворюють щільні зарості за сприятливих умов локальних понижень з намивним дрібноземом, і взагалі формують упродовж 20–25 років на великих відвалах невеликі ізольовані популяції (Korshikov, Krasnoshtan, 2012). Різка строкатість екологічних умов техногенних екотопів відвалів дозволяє максимально реалізувати сукупність біологічних потенцій виду, які генетично закріплені в його індивідах. При тому, що на поверхні відвалів субстрати дуже гетерогенні за фізико-хімічним та мінеральним складом, відзначаються неоднаковою водоутримуючою здатністю, суттєво перегріваються влітку та перемерзають взимку.

Я.П. Дідух (Didukh, 1998) класифікував види рослин до родючості ґрунтів, відділивши екоморфи за їхнім відношенням до сумарного вмісту гумусу (Gm) у ґрунті. В "Екофлорі України" (Didukh et al., 2004) *B. pendula* відносять до "субагумілів" – види, що ростуть на мінеральних погано розвинутих ґрунтах з низьким вмістом гумусу (до 150 т/га в метровому шарі). У випадку зростання *B. pendula* на породі залізорудних відвалів, яка вийнята з горизонтів 100 і більше метрів, такого вмісту гумусу не може бути взагалі, фактично цей вид можна віднести до агумілів. Тобто, на відвалах *B. pendula* проявляє значно ширшу екологічну амплітуду до нестачі гумусу в ґрунті, ніж у природних оселищах і, таким чином, реалізує свої преадаптаційні можливості. З іншого боку, *B. pendula* можна віднести до пейноморфних видів, здатних успішно переносити відсутність органіки в ґрунті, низький вміст мінеральних елементів і при цьому проявляти високу посухо- та жаростійкість.

Колонізація *B. pendula* ділянок відвалу з голою породою, де взагалі немає рослинності, сформованої покритонасінними рослинами, свідчить про те, що цей вид має еволюційно вироблені механізми стійкості до екстремальних еколого-едафічних факторів. Фактично, умови існування на відвалі не є критичними для цього виду, а тому його популяція може існувати протягом тривалого часу зі зміною кількох поколінь. Процеси самовідновлення й самопідтримання популяції *B. pendula* забезпечуються здатністю генеративних рослин утворювати життєздатне насіння з досить високою його врожайністю. Природними факторами, що сприяють формуванню популяцій *B. pendula* на залізорудних відвалах, є ущільнення, збільшення оселищ та відсутність їхнього руйнування через вплив тварин (наприклад, випас худоби), а також відсутність конкуренції в місцях розповсюдження. Заселення *B. pendula* відбувається досить рідко на ділянки, де утворюється стійкий рослинний покрив, зокрема за участю *Calamagrostris epigejos* (L.) Roth, що утворює значний шар мортмаси. В цілому насіння розповсюджується на 500–1000 м від материнських дерев з чисельністю самосіву практично на одному рівні за рахунок високих анемохорних властивостей насіння.

Загалом, *B. pendula* є найуспішнішим деревним видом у техногенному середовищі в Центральній Європі незалежно від наявності або відсутності ґрунтового шару (Prach, Pyšek, 1994). *Betula pendula* успішно зростає на сланцевих відвалах в Естонії, де він відновлюється природним шляхом і є найбільш поширеним з деревних видів. При цьому, під стовбурами 20-річних дерев виникає гумусовий шар з листової підстилки до 2 см (Vaht et al., 2010). До несприятливих умов при наявності високого вмісту важких металів *B. pendula* може адаптуватись на організменному рівні завдяки перебудові в анатомічній структурі пагонів (Andráš et al., 2007). Цей вид успішно використовують у Європі для рекультивації техногенно порушених земель (Prach, Pyšek, 1994).

Розробка способів посіву насіння *B. pendula* на залізорудних відвалах – можливий шлях для використання цього виду в біологічній рекультивації без будь-якої попередньої технічної трансформації їхньої поверхні та покриття ґрунтом. Навіть спонтанно занесений на відвали насіннєвий матеріал з прилеглих територій, який є, зазвичай, генетично гетерогенним, дає початок розвитку рослин, що відіграють важливу роль у відновленні техногенно порушених ландшафтів.

Висновки

Betula pendula належить до піонерних видів рослин, що в умовах Кривбасу (центральна частина України) одним із найперших заселяє залізорудні відвали. На чотирьох досліджених залізорудних відвалах Криворіжжя вид формує первинні популяції, які самовідновлюються та самопідтримуються природним шляхом. Відмічені серед багатьох одностовбурових особин рослини з видозміненою життєвою формою (поростеутворюючі, небагатостовбурові та багатостовбурові) є проявом поліваріантності онтогенезу й відіграють роль у забезпеченні стійкості популяції. У популяційних локусах *B. pendula* переважають особини прегенеративного віку та відсутні старогенеративні, субсенільні та сенільні особини, тому популяції є молодими. Як у чотирьох популяціях в цілому, так і в популяційних локусах не відбуваються будь-які незворотні зміни, оскільки центр самовідновлення – це генеративно розвинені дерева, які знаходяться в доброму життєвому стані. Внутрішньовидова конкуренція спостерігається на вкрай обмежених за площею ділянках у найсприятливіших умовах для проростання насіння. Загалом, *B. pendula* має високий рівень життєвості, адже більшість популяційних локусів належить до процвітаючого типу. Активний ріст і розвиток виду *B. pendula*, а також щорічна поява самосіву на голих породних субстратах забезпечують швидке заростання відвалу, тому цей вид є перспективним для рекультивації техногенно порушених ландшафтів.

Отримані нами дані є науково цінними, оскільки визначення популяційної структури *B. pendula* на залізорудних відвалах Криворіжжя є першим кроком до розкриття сутності популяційних процесів виду за специфічних умов зростання. Однак для прогнозу тривалості існування *B. pendula* у просторі та часі доцільні подальші дослідження.

Список посилань

Alekseev V.A. 1989. *Lesovedenie*, 4: 5–57. [Алексеев В.А. 1989. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. *Лесоведение*, 4: 5–57].

Andráš P., Mamoňová M., Ladomerský J., Turisová I., Lichý A., Rusková J. 2007. Influence of the dump sites on development of selected plant tissues at the Ľubietová area (Slovakia). *Acta Facultatis Ecologiae* (*Zvolen, Slovakia*), 16, Supplement 1: 147–158. https://fee.tuzvo.sk/sites/default/files/andras_et_al_afe_vol16sup1.pdf

Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Neshataeva V.Yu., Stavrova N.I., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. 2002. *Metody izucheniya lesnykh soobshchestv*. St. Petersburg: NII Khimii SPbGU, 240 pp. [Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Нешатаева В.Ю., Ставрова Н.И., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. 2002. *Методы изучения лесных сообществ.* Санкт-Петербург: НИИ Химии СПбГУ, 240 с.].

Babets Ye.K. 2011. *Razrabotka rudnykh mestorozhdeniy,* 94: 3–8. [Бабець Є.К. 2011. Концепція розробки державної програми комплексного вирішення проблем Кривбасу. *Разработка рудных месторождений*, 94: 3–8].

Bekarevich M.E., Masyuk M.T., Chaban I.P., Zabaluev V.A, Mytsyk A.A. 2003. In: *Biologicheskaya rekultivatsiya narushennykh zemel. Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya.* Ekaterinburg, pp. 16–22. [Бекаревич М.Е., Масюк М.Т., Чабан И.П., Забалуев В.А, Мыцык А.А. 2003. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины. В сб.: *Биологическая рекультивация нарушенных земель. Материалы Международного совещания* (*Екатеринбург, 3–7 июля 2002 г.*). Екатеринбург, с. 16–22].

Chistyakova A.A. 1988. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 93(6): 93–105. [Чистякова А.А. 1988. Жизненные формы и их спектры как показатели состояния вида в ценозе (на примере широколиственных деревьев). *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*, 93(6): 93–105].

Didukh Ya.P. 1998. *Ukrayinskyj fitocenotychnyj zhurnal. Seriya C. Fitoekologiya*, 1(10): 4–17. [Дідух Я.П. 1998. Створення багатотомного видання "Екофлори України" як основи фітоіндикації стану екосистем. *Український фітоценотичний журнал. Серія С. Фітоекологія*, 1(10): 4–17].

Didukh Ya.P., Burda R.I., Zyman S.M., Korotchenko I.A., Fedoronchuk M.M., Fitsailo T.V. 2004. *Ekoflora Ukrayiny*, vol. 2. Kyiv: Phytosociocentre, 480 pp. [Дідух Я.П., Бурда Р.І., Зиман С.М., Коротченко І.А., Федорончук М.М., Фіцайло Т.В. 2004. *Екофлора України*, т. 2. Київ: Фітосоціоцентр, 480 с.].

Dobrovolskyi I.A., Shanda V.I., Hayeva N.V. 1979. *Ukrainian Botanical Journal*, 36(6): 524–527. [Добровольський І.А., Шанда В.І., Гаєва Н.В. 1979. Характер і напрямки сингенезису в техногенних

екотопах Кривбасу. *Український ботанічний журнал*, 36(6): 524–527].

Evstigneev O.I., Korotkov V.N. 1992. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 97(6): 88–96. [Евстигнеев О.И., Коротков В.Н. 1992. Популяционная экология пионерных видов широколиственного леса. *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*, 97(6): 88–96].

Google Maps. 2019. Available at: https://www.google.com/maps/ (Accessed 22 October 2019).

Holovenko Ye.O. 2016. *Chornomorskyi Botanical Journal*, 12(1): 78–84. [Головенко Є.О. 2016. Ліхенофлора залізорудних відвалів м. Кривий Ріг. *Чорноморський ботанічний журнал*, 12(1): 78–84]. https://doi.org/10.14255/2308-9628/16.121/8

Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M. 2004. In: *Metody populyatsionnoy biolohii: materialy VII Vseross. populyatsionnoho seminara*, part 2. Syktyvkar, pp. 113–120. [Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М. 2004. Адаптивный морфогенез и эколого-ценотические стратегии выживания травянистых растений. В сб.: *Методы популяционной биологии: материалы VII Всерос. популяционного семинара* (*Сыктывкар, 16–21 февраля 2004 г.*), ч. 2. Сыктывкар, с. 113–120].

Kalashnikova I.V., Migalina S.V. 2012. *Orenburg State Agrarian University*, 5(37): 240–243. [Калашникова И.В., Мигалина С.В. 2012. Естественное возобновление берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) и берёзы пушистой (*B. pubescens* Ehrh.) на техногенных ландшафтах. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 5(37): 240–243].

Konysbaeva D.T., Ormanbekova D.O. 2013. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semey*, 4(64): 45–49. [Конысбаева Д.Т., Орманбекова Д.О. 2013. Биологические особенности и адаптивные свойства березы бородавчатой (*Betula pendula*) в качестве фитомелиоранта на железорудных отвалах. *Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей* (*Семей қаласының Шәкәрім атындағы МУ Хабаршысы*), 4(64): 45–49].

Korshikov I.I., Krasnoshtan O.V. 2012. *Zhiznesposobnost drevesnykh rasteniy na zhelezorudnykh otvalakh Krivorozhya.* Donetsk: Tsyfrova typohrafiya, 278 pp. [Коршиков И.И., Красноштан О.В. 2012. *Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья.* Донецк: Цифрова типографія, 278 с.].

Korshikov I.I., Krasnoshtan O.V., Pasternak H.A. 2012. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University*, 1: 167–171. [Коршиков И.И., Красноштан О.В., Пастернак Г.А. 2012. Видовое разнообразие древесных растений на промышленных отвалах степной зоны. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*, 1: 167–171].

Loza I.M., Bryhadyrenko V.V. 2005. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya biolohiya*, 1(6): 125–130. [Лоза І.М., Бригадиренко В.В. 2005. Еколого-біологічна характеристика герпетобію та рослинного покриву осиково-березових колків. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія*, 1(6): 125–130].

Lvov P.N. 1964. *Lesnoy zhurnal*, 4: 170–171. [Львов П.Н. 1964. О многоствольности берёзы. *Лесной журнал*, 4: 170–171].

Martynyuk A.A. 2008. *Lesovedenie,* 1: 39–45. [Мартынюк А.А. 2008. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения. *Лесоведение*, 1: 39–45].

Muzafarova A.A. 2006. Ekologo-geneticheskiy analiz protsessov lesovozobnovleniya na otvalakh gornodobyvayushchikh predpriyatiy tsvetnoy metallurgii: Cand. Sci. Diss. Abstract. Ufa, Institut biologii Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 18 pp. [Музафарова А.А. 2012. Эколого-генетический анализ процессов лесовозобновления на отвалах горнодобывающих предприятий цветной металлургии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.16 "Экология". Уфа, Институт биологии Уфимского научного центра РАН, 18 с.].

Pavlenko A.O., Krasova O.O., Korshykov I.I. 2017. *Ukrainian Botanical Journal*, 74(4): 360–372. [Павленко А.О., Красова О.О., Коршиков І.І. 2017. Сингенетичні процеси на залізорудних відвалах північної частини Криворіжжя. *Український ботанічний журнал*, 74(4): 360–372].

Prach K., Pysek P. 1994. Spontaneous Establishment of Woody Plants in Central European Derelict Sites and their Potential for Reclamation. *Restoration Ecology*, 2(3): 190–197.

Rabotnov T.A. 1988. *Ekologiya*, 2: 5–13. [Работнов Т.А. 1988. Структура и методика изучения ценотических популяций многолетних травянистых растений. *Экология*, 2: 5–13].

Reva S.V., Shanda V.I., Komisar I.O. 1993. *Ukrainian Botanical Journal*, 50(3): 58–65. [Рева С.В., Шанда В.І., Комісар І.О. 1993. Заселення вищими рослинами відвалів Криворізького басейну. *Український ботанічний журнал*, 50(3): 58–65].

Safonova H.S., Reva S.V. 2009. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 17(2): 87–94. [Сафонова Г.С., Рева С.В. 2009. Заселення вищими рослинами залізорудних відвалів Кривбасу. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*, 17(2): 87–94].

Tyschenko O.M. 2018. *Scientific Bulletin of UNFU,* 28(10): 49–52. [Тищенко О.М. 2018. Лісівничо-таксаційна характеристика березових деревостанів Чернігівського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(10): 49–52].

Uranov A.A. 1975. *Biolohichni Nauky*, 2: 7–34. [Уранов А.А. 1975. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов. *Биологические науки,* 2: 7–34].

Vaht R., Pensa M., Sepp M., Luud A., Karu H., Elvisto T. 2010. Assessment of vegetation performance on semicoke

dumps of Kohtla-Järve oil shale industry, Estonia. *Estonian Journal of Ecology*, 59(1): 3–18. https://doi.org/10.3176/eco.2010.1.01

Verkhunov P.M., Chernykh V.L. 2009. *Taksatsiya lesa.* Yoshkar-Ola: MGTU, 397 pp. [Верхунов П.М., Чёрных В.Л. 2009. *Таксация леса.* Йошкар-Ола: МГТУ, 397 с.].

Voronova L.I., Gatsuk L.E., Egorova V.N., Ermakova I.M., Zhukova L.A., Zaugol'nova L.B., Kupchenko E.I., Matveev A.R., Mihajlova T.D., Prosvirnina E.A., Smirnova O.V., Toropova N.A., Malikov L.D., Shorina N.I. 1976. *Cenopopulyacii rasteniy:* (*Osnovnye ponyatiya i struktura*). Moscow: Nauka, 217 pp. [Воронова Л.И., Гатсук Л.Е., Егорова В.Н., Ермакова И.М., Жукова Л.А., Заугольнова Л.Б., Купченко Е.И., Матвеев А.Р., Михайлова Т.Д., Просвирнина Е.А., Смирнова О.В., Торопова Н.А., Маликов Л.Д., Шорина Н.И. 1976. *Ценопопуляции растений:* (*Основные понятия и структура*). Москва: Наука, 217 с.].

Zaugolnova L.B., Smirnova O.V. 1978. *Zhurnal obshchey biologii*, 39(6): 849–858. [Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В. 1978. Возрастная структура ценопопуляции многолетних растений и её динамика. *Журнал общей биологии*, 39(6): 849–858].

Zaugolnova L.B., Zhukova L.A., Shorina N.I. 1988. In: *Populyatsionnye problemy v biogeotsenologii: stati*. Moscow, pp. 24–59. [Заугольнова Л.Б., Жукова Л.А., Шорина Н.И. Особенности популяционной жизни растений. В сб.: *Популяционные проблемы в биогеоценологии: статьи*. Москва, с. 24–59].

Zaytsev G.N. 1984. *Matematicheskaya statistika v eksperimentalnoy botanike*. Moscow: Nauka, 424 pp. [Зайцев Г.Н. 1984. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука, 424 с.].

Zhilyaev G.G. 2005. *Zhiznesposobnost populyatsiy rasteniy*. Lvov, 304 pp. [Жиляев Г.Г. 2005. *Жизнеспособность популяций растений.* Львов, 304 с.].

Zhivotovskiy L.A. 2001. *Russian Journal of Ecology*, 1: 3–7. [Животовский Л.А. 2001. Онтогенетические состояния: эффективная плотность и классификация популяций. *Экология*, 1: 3–7].

Zhukova L.A. 1995. *Populyatsionnaya zhizn lugovykh rasteniy*. Yoshkar-Ola: Lanar, 224 pp. [Жукова Л.А. 1995. *Популяционная жизнь луговых растений*. Йошкар-Ола: Ланар, 224 с.].

Zhylyayev H.H. 2010. *Ukrainian Botanical Journal,* 67(3): 344–354. [Жиляєв Г.Г. 2010. Субпопуляційна структура як функція віталітетного складу та її роль у саморегуляції популяцій *Soldanella hungarica* Simonk. (*Primulaceae*). *Український ботанічний журнал*, 67(3): 344–354].

Zlobin Yu.A. 1989. *Printsipy i metody izucheniya tsenoticheskikh populyatsiy rasteniy.* Kazan: Kazanskiy universitet, 146 pp. [Злобин Ю.А. 1989. *Принципы и методы изучения ценотических популяций растений.* Казань: Изд-во Казанского университета, 146 с.].

Zlobin Yu.A. 2009. *Populyatsionnaya ekolohiya rasteniy: sovremennoe sostoyanie, tochki rosta.* Sumy: Universitetskaya kniha, 263 pp. [Злобин Ю.А. 2009. *Популяционная экология растений: современное состояние, точки роста.* Сумы: Университетская книга, 263 с.].

Zverkovskiy V.M., Tupika M.P. 2003. In: *Biologicheskaya rekultivatsiya narushennykh zemel: materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya.* Ekaterinburg, pp. 112–124. [Зверковский В.М., Тупика М.П. 2003. Биоэкологическое обоснование лесной рекультивации нарушенных земель. В сб.: *Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы Международного совещания* (*Екатеринбург, 3–7 июля 2002 г.*). Екатеринбург, с. 112–124].

Рекомендує до друку Г.В. Бойко