

Національна Академія наук України
Криворізький ботанічний сад
Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КРАСНОШТАН ОЛЕГ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 582.475.4: 581.5(477.63)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕКОЛОГО-БІОЛОГІЧНІ ДЕТЕРМІНАНТИ УСПІШНОСТІ
ЗРОСТАННЯ ВИДІВ РОДУ *PINUS* L. НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ
КРИВОРІЖЖЯ**

03.00.16—екологія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів має посилання на відповідне джерело

_____ Красноштан О.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник

Коршиков Іван Іванович,
доктор біологічних наук, професор

Дніпро – 2019

АНОТАЦІЯ

Красноштан О.В. Еколого-біологічні детермінанти успішності зростання видів роду *Pinus* L. на залізорудних відвалах Криворіжжя. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2018.

Дисертацію присвячено комплексному аналізу життєздатності сосни кримської (*Pinus pallasiana* D. Don) і сосни звичайної (*P. sylvestris* L.) на трьох залізорудних відвалах Криворіжжя – Першотравневого та Автовідвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК» і Петрівському відвалі ПрАТ «Центральний ГЗК». Умовним контролем слугували насадження обох видів сосен в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України. Для порівняльного генетичного аналізу *P. pallasiana* використані дані, отримані з двох природних популяцій та самовідновлення її на згарищах у Гірському Криму, а *P. sylvestris* – з чотирьох степових природних популяцій в Луганській і Харківській областях.

У дисертації проведено огляд і аналіз робіт з лісової рекультивації відвальних ландшафтів степової зони України; показано, що рекультивація фактично є використанням адаптивних можливостей видів в екстремальних умовах існування. Показано, що обидва види сосен відзначаються високою стійкістю в умовах відвалів і на цей час їх цілком здорові насадження досягли 40 років.

Розкриті особливості морфометричних характеристик рослин *P. pallasiana* та *P. sylvestris* в залежності від топографічного розміщення насаджень на відвалах. Показано, що кількість мортмаси в підстилці кожного насадження сосен залежала від його площі, кількості дерев у межах контуру та від репродуктивної активності рослин. У розрахунку на 1 га загальна мортмаса в насадженнях *P. pallasiana* варіювала від 22,2 до 37,3 т, склавши в цілому по відвалу 102,8 т. Нижній шар підстилки переходить у детрит, що

свідчить про активні процеси ґрунтоутворення. Найбільша маса хвої у молодих дерев *P. sylvestris* відмічена на пласкій вершині Автовідвалу – 11,1 т/га; дещо менша – у деревостанах Петрівського відвалу (3,9–8,3 т/га). За рахунок своєї життєдіяльності рослини *P. pallasiana* та *P. sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя утворюють значний запас органічних речовин і тим самим активізують ґрунтотвірні процеси, покращують еколого-едафічні умови для поселення інших живих організмів.

Специфіка розвитку підземної сфери рослин *Pinus pallasiana* та *P. sylvestris* на залізорудних відвалах полягає у формуванні поверхневих кореневих систем у 20–30-сантиметровому шарі субстрату. Довжина поверхневих бічних коренів у 5-річних сіянців *P. sylvestris* досягає декількох метрів, а стрижневий корінь, як правило, деформований. У молодих рослин *P. pallasiana* на суглинках у Гірському Криму спостерігається порівняно слабкий розвиток як стрижневого кореня, так і поверхневих, тоді як на Першотравневому відвалі бічні поверхневі корені досягають значної довжини. Очевидно, що в цьому проявляється адаптивна стратегія видів сосен щодо захоплення простору в техногенних неоекотопах.

Виявлено феномен спонтанного формування інтродукційних популяцій цих видів навколо існуючих на відвалах насаджень у радіусі 300–500 м або за рахунок заносу насіння із прилеглих до відвалів насаджень. Розміри окремих популяційних локусів, що утворюються за рахунок щорічного відновлення сосен в останні 15–20 років, становить ~ 1 га, а щільність самосіву різного віку досягає 50–70 особин на 100 м². В умовах відвалів рослини обох видів на 7-й рік формують жіночі шишки і відзначаються в подальші роки високою репродуктивною активністю. В опаді навколо рослин 30–35-річного віку зафіксовано до 1500 штук шишок. Молоді особини *P. sylvestris* в умовах залізорудних відвалів Криворіжжя відрізняються помітно більшою врожайністю шишок, ніж старші за віком рослини з ботанічного саду: максимальна кількість шишок в опаді 17–22-річних рослин *P. sylvestris* в

насаджень на Автовідвалі є у 2,8–3,3 рази більшою, ніж в опаді 25-річних рослин дендрарію.

У дослідженнях мінливості 20 алозимних локусів, 16 з яких були поліморфними, в чотирьох деревостанах *P. pallasiana* (Першотравневий відвал, дві природні популяції і самосів на згарищах Гірського Криму) було виявлено 60 алелів. В локальній популяції на відвалі їх на 20,5 % менше, ніж в природній популяції Криму. Відносна кількість генотипів (усього 79), що описані для всіх деревостанів, була досить близькою: відвал – 64,6 %, згарища – 65,8 %, кримські популяції – 68,4–70,1 %. Генетична структура усіх чотирьох деревостанів була близькою до рівноваги згідно закону Харді-Вайнберга. Локальні популяції *P. sylvestris* на двох Криворізьких залізорудних відвалах мали дещо меншу кількість поліморфних локусів і кількість алелів на локус, ніж три з чотирьох природних популяцій Луганської і Харківської областей. Отже встановлено, що в інтродукційних популяціях сосен на відвалах дещо менше алельне різноманіття, однак за рівнем гетерозиготності вони не поступаються природним популяціям Гірського Криму і Степу.

Зазначено, що на відміну від незадовільного відновлення *P. pallasiana* в природних популяціях Криму і *P. sylvestris* у штучних лісонасадженнях Степової зони, на залізорудних відвалах відбувається щорічне насіннєве відновлення обох видів. Насіннєве відновлення сосен відбувається як на пухких субстратах (пісок, суглинки, глини), так і на кварцитовій відсипці з уламками породи розміром від 0,3–10 мм до 3–5 см, а також у щілинах між великим камінням. Молоді рослини *P. pallasiana* на залізорудному відвалі Криворіжжя відрізнялися кращим зростом, ніж рослини такого ж віку на згарищах в Криму. Десятирічні рослини самосіву на відвалі були на 94 см вище, а діаметр стовбура – на 2,5 см більше, ніж у рослин на кримських згарищах. Площі осередків природного розселення *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі у 2,4–21,5 рази більші, ніж площі материнських

насаджень. Висока щільність самосіву *P. pallasiana* відзначена на відкритих ділянках відвалу, слабо колонізованих трав'янистою рослинністю.

На двох залізорудних відвалах, де поширені деревостани з *P. sylvestris*, у перші роки від початку самовідновлення загальна кількість самосіву становила 49 рослин, а в 2010 році – 292 рослини. За показниками росту і розвитку самосів *P. sylvestris* на відвалах Криворіжжя не має ознак пригнічення. До 9–10-річного віку висота сіянців складає 2,21–2,75 м, а діаметр стовбура біля кореневої шийки 3,1–5,1 см. Наразі самосів складається з 1–20-річних рослин. Чисельність 7–20-річних рослин, які формують врожай шишок, становить 30–50 особин на 1 га.

Розроблено методичний підхід з оцінки лісопридатності відвалів до біологічної рекультивації. При проведенні оцінки лісопокриття різних ділянок відвалу, враховуючи склад видів у різних угрупованнях, їх життєвий стан, колонізуючу активність видів за рахунок насіннєвого або вегетативного відновлення в конкретних місцях, було виділено п'ять категорій едафотопів щодо придатності для лісової рекультивації: 1 – непридатні (деревні види відсутні); 2 – малоприсадибні для озеленення (в межах екотопу поширюється один стійкий деревний вид); 3 – присадибні для найбільш життєздатних видів (відмічається 2–3 стійких деревних види); 4) присадибні для озеленення (відмічається 3–5 деревних видів); 5 – доступні для масового озеленення (відмічається більше 5 деревних видів). Ці п'ять категорій лісопридатності наносяться на карту відвалу і в подальшому її використовують в рекультиваційних заходах.

Запатентовано спосіб використання двох видів сосен для прискорення процесів їхнього природного відновлення на залізорудних відвалах Криворіжжя.

Ключові слова: *Pinus pallasiana*, *P. sylvestris*, життєздатність, мінливість, інтродукційні популяції, залізорудні відвали, Криворіжжя.

ABSTRACT

Krasnoshtan O.V. Ecological and biological determinants of successful growth of species of the genus *Pinus* L. on iron ore dumps in Kryvyi Rih Area. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a candidate degree in biological sciences, specialty 03.00.16 - ecology. Dnipro National University named after Oles Honchar, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2018.

The dissertation is devoted to the complex analysis of the viability of the Crimean pine (*Pinus pallasiana* D. Don) and common pine (*P. sylvestris* L.) on three iron ore dumps of Kryvyi Rih Area – Pershotravnevyi and Avtomobilnyi dump of Pershotravnevyi quarry of PJSC “Northern Ore Processing Combine” and Petrivskyi dump of PJSC “Central Ore Processing Combine”. As the conditional control for the plantings of both species of pines, the arboretum of the Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine was chosen. For the comparative genetic analysis of *P. pallasiana*, we used data from two natural populations and its self-renewing on post-fire sites in Mountain Crimea, and *P. sylvestris*, from four steppe natural populations in Luhansk and Kharkiv regions.

In the dissertation, the review and analysis of works on forest reclamation of the dump landscapes of the steppe zone of Ukraine was conducted; it has been shown that reclamation is, in fact, the use of adaptive species capabilities in extreme living conditions. It is shown that both types of pine trees are characterized by high resistance in dumps and at that time their well-balanced plantings have reached 40 years.

The peculiarities of morphometric characteristics of *P. pallasiana* and *P. sylvestris* plants are revealed, depending on the topographical placement of plantings in dumps. It was shown that the amount of mortmass in the litter of each planting of pine trees depended on its area, the number of trees within the contour and on the reproductive activity of plants. As per 1 hectare, the total mortmass in the *P. pallasiana* plantations varied from 22.2 to 37.3 tons, totally 102.8 tons in the

dump. The bottom layer of the litter turns into detritus, which indicates active processes of soil formation. The largest mass of needles in young *P. sylvestris* trees is noted on the flat top of the Avtomobilnyi dump – 11.1 t/ha; somewhat lower – in the stands of Petrivskyi dump (3.9–8.3 t/ha). Due to their livelihoods, *P. pallasiana* and *P. sylvestris* plants on iron ore dumps in Kryvyi Rih form a considerable supply of organic matter, thus activating soil-forming processes, improving ecological and edaphic conditions for colonization by other living organisms.

The specificity of the development of the underlying area of *Pinus pallasiana* and *P. sylvestris* plants on iron ore dumps is the formation of superficial root systems in a 20–30-centimeter layer of substrate. The length of the superficial lateral roots in the 5-year-old seedlings *P. sylvestris* reaches several meters, and the taproot is usually deformed. In young *P. pallasiana* plants on loam in Mountain Crimea, relatively weak development is observed both in the taproot and in the surface roots, whereas in the Pershotravnevyi dump lateral surface roots reach a considerable length. It is obvious that it is a manifestation of adaptive strategy of the types of pines to occupy space in technogenic neoecotopes.

The phenomenon of spontaneous formation of introductory populations of these species around the plantations existing in the dumps within a radius of 300–500 m or due to seeding of the adjacent to the dumps of plantations was revealed. The size of individual populations of loci created by the annual renewing of pine trees in the last 15–20 years is ~1 ha, and the density of self-seeding of different ages reaches 50–70 individuals per 100 m². In conditions of dumps, plants of both species on the 7th year form female cones and, during subsequent years, demonstrate high reproductive activity. In the fall around the plants of the age of 30–35, up to 1,500 pieces of cones were recorded. Young *P. sylvestris* individuals, in conditions of iron ore dumps in Kryvyi Rih, are distinguished by considerably higher yields of cones than older plants from Botanical Garden: the maximum number of cones in the precipitation of 17–22-year-old plants *P. sylvestris* in plantings on the Avtomobilnyi dump is at 2.8–3.3 times larger than the precipitation of 25-year-old plants of the arboretum.

In the studies of the variability of 20 allozym loci, 16 of which were polymorphic, 60 alleles were detected in four *P. pallasiana* (Pershotravnevyi dump, two natural populations and self-seeding in the post-fire sites of Mountain Crimea). In the local population on the dump they are 20.5% less than in the natural population of Crimea. The relative number of genotypes (only 79), which were described for all the stands, was quite close: in the the dump, it was 64.6%; in the post-fire sites – 65.8%; in the Crimean populations – 68.4–70.1%. The genetic structure of all four tree stands was close to equilibrium in accordance with Hardy-Weinberg principle. The local populations of *P. sylvestris* on two Kryvyi Rih iron ore dumps had slightly smaller number of polymorphic loci and the number of alleles per locus than three of the four natural populations of Luhansk and Kharkiv regions. Thus, it was found that in introductory populations of pine trees in dumps there is slightly less allelic variety, however, they are not inferior to the natural populations of Mountain Crimea and the Steppe on the level of heterozygosity.

In two iron ore dumps, where woods from *P. sylvestris* are widespread, in the first years since the beginning of self-renewing, the total number of self-seeding was 49 plants, and in 2010 – 292 plants. According to growth and development parameters of *P. sylvestris* self-seeded plants on the dumps of Kryvyi Rih Area, there are no signs of oppression. Up to 9–10 years old, the height of seedlings is 2.21–2.75 m, and the diameter of the trunk at the root neck of 3.1–5.1 cm. Currently, the self-seeding is composed of 1–20-year-old plants. The number of 7–20-year-old plants that form the crop of cones is 30–50 individuals per 1 hectare.

We developed a methodical approach for assessing the suitability of dumps for biological remediation. In assessing the forest cover of different sections of the dump, taking into account the composition of species in different groups, their vital activity, colonizing activity of species due to seed or vegetative recovery in specific places, five categories of edaphotopes were identified as being suitable for forest remediation: 1 – unsuitable (wood species are absent); 2 – unsuitable for planting (there is one stable tree species within the ecotope); 3 – suitable for the

most viable species (2–3 persistent tree species are noted); 4) suitable for planting (3–5 tree species are noted); 5 – available for mass planting (more than 5 species of trees are noted). These five categories of forest use are deposited on the map of the dump and subsequently used in reclamation measures.

The method of using two types of pine trees to accelerate the processes of their natural renewing on the iron ore dumps of Kryvyi Rih is patented.

Key words: *Pinus pallasiana*, *P. sylvestris*, viability, variability, introduced populations, iron ore dumps, Kryvyi Rih Area.

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографія:

1. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.** Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья – Донецк: Цифрова типографія, 2012. – 280 с. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання окремих розділів*).

Публікації у виданнях, що входять до наукометричних баз:

2. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.** Генетическая структура самосева сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) на гарях в Горном Крыму и на железорудном отвале Криворожья // Цитология и генетика. – 2010. – Т. 44, № 3. – С. 27–34. **Scopus** (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).

3. Коршиков И.И., Мудрик Е.А., **Красноштан О.В.**, Великоридько Т.И., Калафат Л.А., Подгорный Д.Ю. Возрастная динамика популяционного генофонда сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) в Крыму // Цитология и генетика. – 2011. – Т. 45, № 1. – С. 41–47. **Scopus** (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).

Публікації в наукових фахових виданнях України:

4. **Красноштан О.В.** Формування популяції сосни кримської (*Pinus pallasiana* D.Don) на залізорудному відвалі Криворіжжя // Науковий вісник НЛТУ України. Львів. 2016. Вип. 26 (5). С. 67–73.
5. **Красноштан О.В.** Феномен відновлення сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на залізорудних відвалах Криворіжжя // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. 2016. – № 2 (66). – С. 21–25.
6. **Красноштан О.В.** Життєздатність рослин *Pinus pallasiana* D.Don і *Pinus sylvestris* L. на залізорудних відвалах Криворіжжя // Інтродукція рослин. – 2017. – № 2. – С. 73–79. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
7. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Мазур А.Ю., Терлыга Н.С. Естественное возобновление сосны крымской (*Pinus pallasiana* D.Don) на железорудном отвале Криворожья // Інтродукція рослин. – 2005. – № 4. – С. 46–51. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
8. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Терлыга Н.С., Мазур А.Е., Данильчук Н.М. Самовозобновление *Pinus sylvestris* L. на железорудных отвалах Криворожья // Промышленная ботаника. – 2005. – Вып. 5. – С. 85–89. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
9. Коршиков И.И., Терлыга Н.С., **Красноштан О.В.**, Мазур А.Е., Данильчук Н.М., Лаптева Е.В. Актуальные проблемы оценки жизнеспособности древесных растений на железорудных отвалах Криворожья // Наук. зап. Тернопіл. держ. пед. університету ім. Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. – 2007. – № 2 (32). – С. 129–134. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).

10. Коршиков И.И., Данильчук Н.М., **Красноштан О.В.**, Мазур А.Е. Жизненная форма и вегетативное разрастание тополя белого (*Populus alba* L.) на железорудных отвалах Криворожья // Интродукция растений. – 2008. – № 3. – С. 105–112. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
11. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Лаптева Е.В., Данильчук Н.М. Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья // Промышленная ботаника. – 2008. – Вып. 8. – С. 55–61. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
12. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.** Жизнестойкость сосны крымской (*Pinus pallasiana* D.Don) в насаждениях на железорудных отвалах Криворожья // Промышленная ботаника. – 2009. – Вып. 9. – С. 68–74. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
13. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.** О фитоэкологической оценке эдафотопов железорудных отвалов Криворожья // Промышленная ботаника. – 2010. – Вып. 10. – С. 16–21. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
14. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.** Особенности генетической структуры локальной популяции *Pinus sylvestris* L., яка спонтанно формується на залізорудному відвалі Криворіжжя // Укр. ботан. журн. – 2010. – Т. 67, № 6. – С. 920–926. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
15. Коршиков И.И., Мазур А.Е., Терлыга Н.С., **Красноштан О.В.** Генетические особенности деревьев сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) с существенными отличиями в семенной продуктивности в насаждениях Криворожья // Интродукція рослин. – 2011. – № 1. – С. 70–75. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).

16. Коршиков И.И., Пастернак Г.А., **Красноштан О.В.** Естественное возникновение пионерных парцелл древесных растений на промышленных отвалах степной зоны Украины // Вісник Дніпропетр. державн. аграрного ун-ту. – 2012. – № 1. – С. 167–171. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
17. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Пастернак Г.А. Видовое разнообразие древесных растений на промышленных отвалах степной зоны Украины // Вісник Дніпропетр. держ. аграрного ун-ту. – 2012. – № 2. – С. 24–28. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
18. Коршиков І.І., **Красноштан О.В.**, Пастернак Г.О. Особливості генетичної структури деревостанів *Pinus sylvestris* L. (Pinaceae Lindl.) промислово порушених та аеротехногенно забруднених територій // Укр. ботан. журн. – 2012. – Т. 70, № 1. – С. 108–112. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
19. Коршиков И.И., Пастернак А.Г., **Красноштан О.В.** Пластичность корневой системы устойчивых видов древесных растений, поселяющихся на промышленных отвалах в степной зоне Украины // Інтродукція рослин. – 2014. – № 1. – С. 72–78. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).
20. Шевчук Н.Ю., Коршиков І.І., Гусейнова Е.Р., Петрушкевич Ю.М., **Красноштан О.В.** Розповсюдженість та життєздатність видів роду *Pinus* L. в насадженнях м. Кривий Ріг // Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель: наук. журн. – Д.: ЛПРА, 2017. – Том 46. – С. 10–17. (*Особистий внесок: виконання польових досліджень, обробка отриманих результатів, написання статті*).

Патенти:

21. Коршиков І.І., Мазур А.Ю., Терлига Н.С., **Красноштан О.В.** Спосіб озеленення залізорудних відвалів Криворіжжя двома видами сосен: пат.

17262 Україна. № 2006 03418; заявл. 29.03.06; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9. (Особистий внесок: участь в патентному пошуку, проведення експериментальних досліджень та оформлення патенту).

22. Кучеревський В.В., **Красноштан О.В.**, Шоль Г.Н., Баранець М.О., Сіренко Т.В. Спосіб рекультивації (озеленення) залізорудних відвалів: пат. 95495 Україна. № u 2014 07654; заявл. 07.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. №

24. (Особистий внесок: участь в патентному пошуку, проведення експериментальних досліджень та оформлення патенту).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

23. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Терлыга Н.С., Мазур А.Е. Естественное облесение железорудных отвалов Криворожья. *Відновлення порушених природних екосистем*: матеріали Другої міжнар. наук. конф. (Донецьк, 6–8 вересня 2005 р.). – Донецьк: ТОВ «Лебідь», 2005. – С.159–161. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).

24. Коршиков И.И., Жуков С.П., Терлыга Н.С., Мазур А.Е., Данильчук Н.М., **Красноштан О.В.** Древесные интродуценты в озеленении отвалов горнодобывающих предприятий степной зоны Украины. *Будівництво та реконструкція ботанічних садів і дендропарків в Україні*: матеріали наук. конф. (Сімферополь, 23–26 травня 2006 р.) – Сімферополь, 2006. – С. 162–165. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).

25. Коршиков И.И., Терлыга Н.С., Мазур А.Е., **Красноштан О.В.**, Данильчук Н.М. Естественное формирование пионерных сосново-березовых парцелл на железорудных отвалах Криворожья. *Старовинні паркі і ботанічні сади – наукові центри збереження біорізноманітності та охорона історико-культурної спадщини*: матеріали міжнар. наук. конф. – Київ: Академперіодика, 2006. – С. 348–350. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).

26. Коршиков И.И., Мазур А.Е., Данильчук Н.М., Терлыга Н.С., **Красноштан О.В.** Возобновление на железорудных отвалах Криворожья натурализованных в степной зоне видов-интродуцентов древесных растений. *Інтродукція та захист рослин у ботанічних садах та дендропарках: матеріали міжнар. наук. конф. (Донецьк, 5–7 вересня 2006 р.). – Донецьк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2006. – С. 247–250. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).*
27. Коршиков И.И., Мазур А.Е., **Красноштан О.В.**, Лаптева Е.В., Заричнюк В.В. Устойчивость и жизненные формы древесных растений на железорудных отвалах Криворожья. *Відновлення порушених природних екосистем: матеріали третьої міжнар. наук. конф. (Донецьк, 7–9 жовтня 2008 р.). – Донецьк, 2008. – С. 267–273. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).*
28. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Шляхов Р.С., Заричнюк В.В., Лаптева Е.В. О необходимости мониторинга дендроинтродуцентов на горнорудных отвалах степной зоны Украины. *Інтродукція, селекція та захист рослин: матеріали другої міжнар. наук. конф. (Донецьк, 6–8 жовтня 2009 р.). – Донецьк, 2009. – Т. 1. – С. 383–388. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).*
29. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.**, Мазур А.Е., Лаптева Е.В. Особенности морфологии корневой системы древесных растений, произрастающих на железорудных отвалах Криворожья. *Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: матеріали VI міжнар. наук. конф. (Донецьк, 4–7 жовтня 2010 р.). – Донецьк, 2010. – С. 247–250. (Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів).*
30. Коршиков И.И., **Красноштан О.В.** Биоэкологические характеристики трех устойчивых самовозобновляемых видов древесных растений на железорудных отвалах Криворожья. *Від заповідання до збалансованого природокористування: матеріали міжнар. наук. конф. (Донецьк, 20–22*

березня 2013 р.) – Донецьк, 2013. – С. 136–137. (*Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів*).

31. Коршиков І.І., **Красноштан О.В.**, Шевчук Н.Ю. Антропогенний вплив на формування підстилки в соснових насадженнях. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України*: матеріали Міжнар. наук. конф. (Дніпро, 25–27 жовтня 2016 р.). – Дніпро: Ліра, 2016. – С. 32–33. (*Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів*).

32. Коршиков І.І., Шевчук Н.Ю., **Красноштан О.В.** Розповсюдженість і стійкість видів роду *Pinus* L. у насадженнях міста Кривий Ріг. *Актуальні проблеми озеленення населених місць: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту (до 10-річчя відкриття напрямку підготовки «Лісове та садово-паркове господарство»)*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (25–26 травня 2017 р.). – Біла Церква, 2017. – С. 78–80. (*Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів*).

33. Коршиков І.І., Шевчук Н.Ю., Гусейнова Е.Р., **Красноштан О.В.**, Артюшенко О.М. Стан хвойних в насадженнях м. Кривий Ріг. *Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін*: матеріали Міжнар. наук. конф., присвяч. 150-річчю Ботанічного саду ім. акад. В.І. Липського ОНУ ім. І.І. Мечникова (Одеса, 19–21 вересня 2017). – Одеса: ОНУ, 2017. – С.77–80. (*Особистий внесок: збір та опрацювання матеріалів, аналіз результатів*).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	18
ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ РОСЛИН В ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	25
1.1. Проблеми і специфіка дендротехногенної інтродукції	27
1.2. Природне відновлення рослинності на породних відвалах	34
1.3. Еколого-біологічна характеристика сосни звичайної та сосни кримської	39
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	46
2.1. Фізико-географічна характеристика території Криворіжжя	46
2.2. Особливості техногенних ландшафтів Криворіжжя	51
2.3. Об'єкти й методи досліджень	56
РОЗДІЛ 3. ЖИТТЄСТІЙКІСТЬ ТА АДАПТИВНІ ФЕНОТИПОВІ ЗМІНИ ДВОХ ВИДІВ СОСЕН У НАСАДЖЕННЯХ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ	64
3.1. Сосна кримська в насадженнях на відвалах Криворіжжя	64
3.2. Сосна звичайна в насадженнях відвалів Криворіжжя	69
3.3. Відмінності в морфології кореневої системи <i>Pinus pallasiana</i> і <i>P. sylvestris</i> на залізорудних відвалах і в природних умовах	75
РОЗДІЛ 4. РЕПРОДУКТИВНА АКТИВНІСТЬ ДВОХ ВИДІВ СОСЕН НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ ТА СПАДКОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ЇХ ЛОКАЛЬНИХ ПОПУЛЯЦІЙ	83
4.1. Насінноношення сосни кримської в насадженнях на відвалі	84
4.2. Насінноношення сосни звичайної в піонерних насадженнях на відвалі	89
4.3. Спадкове різноманіття локальних популяцій двох видів сосен	

на залізорудних відвалах	94
4.3.1. Порівняльний аналіз алозимної мінливості сосни кримської в популяціях на залізорудному відвалі і на згарищах в Гірському Криму	95
4.3.2. Особливості генетичної структури «острівних» популяцій сосни звичайної на залізорудних відвалах Криворіжжя	102
РОЗДІЛ 5. ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВОЇ, ВІКОВОЇ ТА ВІТАЛІТЕТНОЇ СТРУКТУРИ ПОПУЛЯЦІЙ <i>PINUS PALLASIANA</i> ТА <i>P. SYLVESTRIS</i> НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ І НА ЗГАРИЩАХ У КРИМУ	112
5.1. Просторова, вікова та віталітетна структура інтродукційної популяції сосни кримської на Першотравневому відвалі	112
5.2. Особливості відновлення, відмінності в морфометрії і насінневої продуктивності самосіву <i>P. pallasiana</i> на Першотравневому відвалі і на згарищах у Гірському Криму	118
5.3. Самовідновлення <i>Pinus sylvestris</i> на залізорудних відвалах Криворіжжя	127
РОЗДІЛ 6. ФІТОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛІВ ДО БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ...	134
ВИСНОВКИ	146
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	149
ДОДАТКИ	177

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DN – генетична дистанція Нея

м. – місто

ПівнГЗК – Північний гірночно-збагачувальний комбінат

смт – селище міського типу

ЦГЗК – Центральний гірночно-збагачувальний комбінат

ВСТУП

Актуальність теми. В Україні значний вклад у руйнування природних ландшафтів і формування нових – техногенних – вносить гірничодобувна промисловість. Її вплив в окремих регіонах, як, наприклад, на Криворіжжі, дуже значний, який можна порівняти з природними геологічними процесами. Згідно із законодавством, відпрацьовані кар'єри і, особливо, відвали підлягають рекультивації. Геологічні породи, з яких формуються промислові відвали, не мають головних властивостей ґрунтів, в першу чергу, ефективної родючості. Нерідко вони є фітотоксичними і вкрай несприятливими для існування рослин. Тому рекультивація промислових відвалів передбачає дуже витратний технічний етап – нарізку терас, вирівнювання схилів та їхнє покриття 0,5–2,5 м шаром ґрунту [8, 19, 66, 83, 163]. Залізорудні відвали Криворіжжя почали рекультивувати різними способами більше 50 років тому з використанням понад 100 видів деревних рослин, як правило – інтродуцентів. На сьогодні набув актуальності етап селекційного відбору серед них таких видів, які на відвалах виявляють найвищу життєздатність та можуть відновлюватись насіннєвим або вегетативним шляхом і розселятися по поверхні відвалу, утворюючи стійкі угруповання. Цьому сприяє те, що значна кількість відвалів, зокрема великих, давно виведена з експлуатації, а їх порода пройшла основні етапи фізико-хімічного вивітрювання, ставши при цьому екологічно більш сприятливою для розселення деревних рослин. Все це призвело до активації процесів самозаростання відвалів за рахунок насіння тих рослин, що вже росли на відвалі, або насіння, занесеного з прилеглих до відвалу насаджень. Сам процес багаторічного розселення й самовідновлення деревних рослин, зокрема, двох видів сосен, на залізорудних відвалах Криворіжжя – нових екотопах, не властивих природним ландшафтам, – цілком можна розглядати як реалізацію адаптивної стратегії видів у нехарактерних еколого-едафічних умовах існування [94]. Дослідження феномену насіннєвого відновлення двох видів сосен на залізорудних відвалах

необхідно вивчати з позицій екобіології, в першу чергу оцінюючи їх життєздатність і популяційні структури в нехарактерних для них умовах середовища [3, 119, 203]. Це дає можливість визначити еколого-біологічні детермінанти успішного зростання *P. pallasiana* і *P. sylvestris*, необхідні для розробки практичних заходів зі сприяння природній колонізації соснами цих техногенних екотопів, а в підсумку – значно знизити витрати на їх рекультивацію [90].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відділі інтродукції та акліматизації рослин Криворізького ботанічного саду НАН України в межах планових фундаментальних досліджень відділу за темами: «Генетично-селекційні підходи у визначенні механізмів формування екологічно стійких форм рослин» (№ держреєстрації 0102U004551; 2002–2006 рр.), «Збереження, збагачення і вивчення біологічного різноманіття при інтродукції рослин в промисловому Кривбасі з метою використання інтродуцентів в оптимізації техногенного середовища» (№ держреєстрації 0199U001192; 2004–2008 рр.), «Використання генетично-селекційних технологій в збереженні біорізноманіття та селекції стійких до стресових факторів рослин» (№ держреєстрації 0106U008124; 2007–2011 рр.); «Інтродукція та акліматизація деревних і чагарникових рослин в еколого-ландшафтній оптимізації міських зелених насаджень у промисловому регіоні степової зони України» (№ держреєстрації 0117U000828; 2017–2019 рр.).

Мета та завдання дослідження. Мета дослідження – визначити еколого-біологічні детермінанти успішності зростання *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя та розробити практичні заходи щодо сприяння формуванню локальних інтродукційних популяцій двох видів сосен на техногенно порушених землях.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- проаналізувати стійкість штучних насаджень *P. pallasiana* і *P. sylvestris* та їх самосіву в гетерогенних едафічних умовах на залізородних відвалах Криворіжжя;
- визначити об'єм опаду та підстилки в насадженнях двох видів сосни на промислових відвалах як факторів поліпшення умов зростання рослин;
- встановити особливості морфоструктури кореневої системи в самосіву двох видів сосни на відвалах;
- дослідити репродуктивну активність *P. pallasiana* і *P. sylvestris* у різних за віком деревостанах на відвалах;
- вивчити просторову, вікову та віталітетну структури спонтанних та інтродукційних локусів зростання обох видів сосен на окремих відвалах;
- порівняти аналіз морфометричних характеристик та репродуктивних потенцій самосіву *P. pallasiana* на відвалах Криворіжжя та на згарищах природної популяції Гірського Криму;
- визначити особливості генетичної структури локальних інтродукційних популяцій *P. pallasiana* і *P. sylvestris* на відвалах порівняно з природними популяціями;
- розробити критерії оцінки ступеня придатності окремих ділянок і відвалу загалом для цілей фіторекультивациї.

Об'єкт дослідження – штучні насадження та інтродукційні популяції *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris*.

Предмет дослідження – життєвість, репродуктивна активність, особливості генетичної структури, просторової та функціональної організації спонтанно утворених локальних популяцій *P. pallasiana* і *P. sylvestris* на залізородних відвалах Криворіжжя.

Методи дослідження. Польові спостереження (стаціонарні та експедиційні), лабораторні дослідження, дендрологічні, морфометричні, порівняльно-морфологічні, методи популяційної біології та генетики, статистичні з використанням прикладних комп'ютерних програм.

Наукова новизна отриманих результатів. Уперше:

- встановлено феномен насіннєвого самовідновлення *P. pallasiana* і *P. sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя навколо вже існуючих штучних насаджень та внаслідок заносу насіння з прилеглих до відвалів соснових деревостанів;
- показано, що *P. pallasiana* і *P. sylvestris* можуть формувати стійкі життєздатні локальні популяції на залізорудних відвалах, де переважна більшість інших видів деревних рослин елімінує на ранніх етапах онтогенезу;
- виявлено багаторічну динаміку життєвості обох видів сосен на різних за фізико-хімічним і механічним складом породах залізорудних відвалів;
- розкрито здатність дерев із покоління самосіву у 10-12 річному віці до формування значного врожаю шишок із високим відсотком повноцінного насіння;
- встановлено, що в гетерогенних едафічних умовах відвалів у молодих рослин репродуктивного віку формується переважно поверхнева коренева система, яка залягає в основному у верхньому (10–30 см) шарі породи;
- показано, що за рівнем генетичної мінливості (гетерозиготності) локальні популяції із самосіву *P. pallasiana* і *P. sylvestris* на відвалах мало відрізняються відповідно, від природної популяції Гірського Криму та степових популяцій *P. sylvestris*;
- виявлено, що серед зростаючих у техногенних екотопах деревних видів рослин *P. pallasiana* і *P. sylvestris* відзначаються найбільшою тривалістю життєвого циклу і здатністю до самопоновлення в несприятливих умовах залізорудних відвалів.

Практичне значення отриманих результатів. Підтверджена можливість широкого використання в практиці озеленення залізорудних відвалів Криворіжжя двох видів сосен *P. pallasiana* і *P. sylvestris*, які в цих умовах відзначаються високою стійкістю та декоративністю, що дозволяє використовувати їхні насадження на відвалах навіть у промисловому туризмі. Розроблено метод оцінки лісопридатності окремих ділянок та в цілому

відвалу для рекультивації без застосування матеріально і фінансово дуже затратного технічного етапу. Запатентовано спосіб використання цих сосен в озелененні залізорудних відвалів. Розробку впроваджено на двох залізорудних відвалах на площі 50 га.

Особистий внесок здобувача. Спільно з науковим керівником, доктором біологічних наук, професором І.І. Коршиковим, розроблено науковий напрям, визначено мету й завдання дисертаційного дослідження, здійснено планування експериментів, польові і лабораторні дослідження, підготовку публікацій до друку. Здобувачем особисто виконано аналіз наукової літератури за темою дисертації, відібрано експериментальний матеріал із стаціонарних пробних площ відвалів, проведено камеральні дослідження на базі наукових лабораторій Криворізького ботанічного саду НАН України, інтерпретовано й статистично опрацьовано отримані дані, сформульовано висновки та практичні рекомендації. В опублікованих роботах автор є повноправним співавтором. Права співавторів у спільних публікаціях при підготовці дисертації не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати наукових досліджень апробовані на регіональних і міжнародних наукових конференціях: «Відновлення порушених природних екосистем» (Донецьк, 2005); «Будівництво та реконструкція ботанічних садів і дендропарків в Україні» (Сімферополь, 2006); «Старовинні парки і ботанічні сади – наукові центри збереження біорізноманітності та охорони історико-культурної спадщини» (Київ, 2006); «Інтродукція та захист рослин у ботанічних садах та дендропарках» (Донецьк, 2006); «Відновлення порушених природних екосистем» (Донецьк, 2008); «Інтродукція, селекція та захист рослин» (Донецьк, 2009); «Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку» (Донецьк, 2010); «Відновлення порушених природних екосистем» (Донецьк, 2011); «Від заповідання до збалансованого природокористування» (Донецьк, 2013); «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (Дніпро, 2016); «Актуальні проблеми озеленення населених місць:

освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафту (до 10-річчя відкриття напрямку підготовки «Лісове та садово-паркове господарство») (Біла Церква, 2017); «Генофонд колекцій ботанічних садів і дендропарків – запорука сталих фітоценозів в умовах кліматичних змін» (м. Одеса, 2017).

Публікації. За темою дисертації опублікована 31 наукова праця, з яких: 1 монографія, 19 статей у періодичних фахових виданнях України (дві з них у виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази Scopus); 11 публікацій – матеріали конференцій і тез доповідей. Автором отримано 2 патенти.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, з яких чотири висвітлюють результати власних досліджень, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації – 182 сторінки; текст основної частини займає 148 сторінок. Дисертація містить 36 таблиць і 25 рисунків. До списку літератури включено 232 джерела, з яких 27 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ РОСЛИН В ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

У великому переліку завдань і заходів з охорони та відтворення природних ресурсів у техногенних ландшафтах провідне місце займає проблема рекультивації породних відвалів. Узагальнення теоретичних та практичних напрацювань в цьому напрямку призвело до виникнення особливого розділу техногенної біогеоценології – рекультознавства, яке являє собою комплекс заходів, спрямованих на відновлення продуктивності порушених земель, а також на поліпшення умов довкілля [50, 70, 179].

Багаторічний накопичений досвід свідчить, що рекультивацію проводять в три етапи [149]. Перший етап – підготовчий: обстеження і типізація техногенно порушених територій, з'ясування специфіки порушень. Цей етап включає дослідження геологічної будови і фізико-хімічного складу породи, вивчення гідрологічних умов на порушених територіях, прогноз придатності їх до біологічної рекультивації, розробку стратегії рекультивації, складання техніко-економічного обґрунтування і, власне, проекту рекультиваційних робіт.

Другий етап – гірничотехнічний, або інженерний, який включає раціональне формування поверхні відвалів з розрівнюванням поверхні і згладжуванням укосів для подальшої відсипки на поверхню доступного для життєдіяльності рослин субстрату, а ще краще – потенційно родючих ґрунтових сумішей. На відвалах, особливо погано спланованих, можуть розвиватися всі види ерозії і денудації – поверхневий змив, розмив, просідання, карст, суфозія, тиксотропний рух ґрунтової маси і т. д. [147] В результаті утворюються пустоти, короткі і довгі яри, заглиблення, промивини, серпантинна ерозія і бічне осідання схилів. Гірничо-технічний етап рекультивації спрямований на зниження ерозійних процесів, та в першу чергу для підготовки поверхні відвалів для лісонасаджень. Це складний

комплекс планувальних, інженерно-технічних та хіміко-меліоративних робіт, які вимагають значних капіталовкладень.

Третій етап – біологічна рекультивація, яка в залежності від характеру і ступеня техногенного порушення територій може бути спрямована на відновлення родючості ґрунту і включення цих територій в сільсько- та лісогосподарський обіг, або закінчиться озелененням з метою зниження рівня забруднення навколишнього середовища [66, 69, 80].

З метою створення більш сприятливих едафічних умов для рослин на відвалах проводять їх меліорацію. Розрізняють фізичні і хімічні методи меліорації відвалів: збагачення ґрунтосуміші за допомогою внесення добрив і посіву сидератів, введення до складу насаджень на відвалах рослин, здатних фіксувати атмосферний азот. Фізичні методи меліорації передбачають нанесення потенційно родючого шару ґрунту на поверхню відвалу для створення так званого екранного шару для захисту кореневих систем від токсичної породи. Цей вкрай дорогий метод меліорації був замінений створенням посадкових борозен і внесенням в них ґрунтово-перегнійних компостів, висадкою саджанців в заповнені родючим ґрунтом ями, а також в горщиках і контейнерах [10].

В ході рекультивації порушені гірничодобувною промисловістю території з відсипкою токсичних порід пропонується покривати піщаними відкладеннями, а потім лесовидними суглинками і чорноземом. Такий екранний шар необхідний для перешкоди капілярного підйому розчинів токсичних речовин з породи [180]. Кам'янисті породи пропонується перекривати водонепроникним екраном з глини, а потім ґрунтом товщиною в 35–40 см [111].

Залежно від подальшого цільового використання відновлюваних техногенно порушених земель виділяють три основних напрямки їх біологічної рекультивації:

1. Сільськогосподарський – відновлення угідь для вирощування різних культур, частіше технічних, створення садів і ягідників, луків і пасовищ.

2. Лісогосподарський – створення лісонасаджень цільового та експлуатаційного призначення.
3. Профілактичний – озеленення з метою консервації відвалів для зниження забруднення навколишнього середовища, а в окремих випадках – використання відновлених техногенних ландшафтів для рекреації.

Відомий в Європі ще з середини XIX століття спосіб рекультивації відвалів відкритих розробок шляхом створення лісонасаджень вважається найбільш малозатратним. Лісова рекультивація використовує досягнення рекультизнавства, враховує особливості взаємозв'язку техносфери із компонентами природних і штучних екосистем, базується на принципах забезпечення екологічної захищеності природних комплексів в умовах техногенезу, розробляє техніко-економічне, біоекологічне та методологічне обґрунтування освоєння земель, порушених промисловістю [9, 70].

Накопичений досвід рекультивації відвалів різних гірничорудних виробництв свідчить, що в їх озелененні явна перевага віддається деревним рослинам. Оскільки породні відвали гірничодобувного виробництва в основному локалізовані в степовій зоні, то в їх озелененні в переважній більшості випадків використовувалися види-інтродуценти. Подальше застосування нових інтродуцентів в озелененні відвалів має певну перспективу, однак більш раціональним і продуктивним слід вважати використання тих видів рослин, які адаптувалися до умов відвалів. Цей шлях найбільш реальний, оскільки через економічні проблеми темпи рекультивації відвалів в останні роки в різних регіонах країни істотно знизилися.

1.1. Проблеми і специфіка дендротехногенної інтродукції

Дендротехногенна інтродукція є напрямком промислової ботаніки, до завдань якого входить різнобічна оцінка адаптивного потенціалу інорайонних видів деревних рослин, які вже використовуються для оптимізації різноманітних техногенних екотопів [92, 126]. Підвищеної уваги серед таких видів заслуговують ті, які здатні до активного розселення за

рахунок насіннєвого відновлення. Серед деревних рослин в інтродукційних насадженнях степової зони України таких видів вкрай мало. Вважається, що види-інтродуценти, які розселяються самосівом, володіють і вищим «ступенем приживлення» і «високою життєвістю» [32, 40].

На першому етапі озеленення породних відвалів широко і повсюдно використовувався досвід з лісомеліорації і степового полезахисного лісорозведення. При підборі видів деревних рослин для озеленення промислових відвалів, в першу чергу, враховуються особливості їх вимог до родючості ґрунту.

Спільними едафічними факторами для всіх гірничорудних відвалів різного виробництва є: а) явна нестача в породі мінеральних і особливо органічних речовин, необхідних для росту та розвитку рослин; б) низька вологоємність і водоутримуюча здатність субстратів; в) наявність в породі токсичних речовин, солей або їх утворення в процесі фізико-хімічного вивітрювання породи; г) надмірний, у порівнянні зі степовими чорноземами, вміст важких і рідкоземельних металів; д) висока гетерогенність поверхні відвалів за механічним, фізико-хімічним складом породи, вмістом токсичних речовин, аеробільності, ерозійності, кислотності і засоленості субстрату. Неприятливими і небезпечними для життєдіяльності лісових деревних рослин на відвалах та інших екотопах є крайні значення рН – 3,0 або 9,0, адже оптимальні значення рН ґрунтосуміші для хвойних на відвалах знаходяться в межах 4,5–6,0, а для листяних – 6,0–7,5 [121]. Для зниження кислотності субстрату проводять хімічну меліорацію техногенно порушених земель. Вона необхідна, перш за все, для швидко забруднюючих техногенних територій (для Кривбасу – хвостосховища) і заснована на застосуванні дорогих складних органо-мінеральних сполук, що володіють специфікою структуроутворювачів і створюють захисну плівку на поверхні породи. В якості меліорантів застосовують негашене вапно, мул, попіл з низьким вмістом сульфатів і важких металів, побутові шлами і добрива. У США застосовують гідравлічний спосіб нанесення меліорантів з насінням рослин

на схили породних відвалів. Застосування такого способу забезпечує приживання 90% насіння білої акації [53, 214–215].

Мінеральні добрива в лісовій рекультивації використовувалися на промислових відвалах не часто, і ефект їх впливу на ріст рослин не завжди простежувався. Для збагачення породи відвалів органічними і мінеральними речовинами останнім часом все частіше використовують посіви сидератів, перш за все, злаково-бобові трав'яні суміші [181]. Також для підвищення вмісту азоту в ґрунтосуміші відвалів рекомендують висаджувати на відвалах деревні породи, які утворюють симбіоз із азотфіксуючими бактеріями. З таких порід в лісомеліоративній практиці найбільш широко використовують *Robinia pseudoacacia* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, *A. incana* (L.) Moench і *Caragana arborescens* Lam. [18–22, 53, 54; 66; 67]. Слід зазначити, що бульбочкові бактерії бобових гинуть вже при значенні pH = 4,8, тому біля коренів рослин навіть в насипному ґрунті (> 40 см) на відвалах буровугільних розробок кількість бульбочок помітно менша, ніж у рослин звичайних місцевих ґрунтів [72].

В Європі лісова рекультивація розпочалася в 20-і роки XX століття з озеленення відвалів на території Німеччини в Рейнському буровугільному басейні. Як і в інших країнах, на першому етапі на відвалах висаджувався випадковий набір деревно-чагарникових видів. На другому етапі рекультивації цих відвалів були виділені ґрунтопокращуючі меліоративні культури – *Populus* L. і *Alnus* L. Наступний, третій етап рекультивації був спрямований на створення господарсько-цінних насаджень *Populus* L., благоустрій територій та формування зон відпочинку. Для озеленення відвалів Рейнського буровугільного басейну використовувалися 36 і 18 видів деревних і чагарникових рослин відповідно [38, 121].

В Англії на відвалах вугільних шахт і залізрудних кар'єрів широко використовується та успішно зростає ряд видів хвойних, серед яких переважають *Larix* L., *Pinus* L., а також листяних порід [121]. При залісненні укосів промислових відвалів у колишній Німецькій Демократичній

Республіці в 60-70-ті роки XX століття високою життєстійкістю на нетоксичній породі відрізнялися види *Hippophae rhamnoides* L. і *Pinus sylvestris* L.

Узагальнюючи результати лісорекультивації промислових відвалів на території США, проведеної до 60-х років XX століття, G.A. Limstrom [217] приходить до висновку, що розрівнювання відвалів в ході технічного етапу рекультивації погіршує фізико-механічні та водоутримуючі властивості ґрунтосуміші, а це, в свою чергу, знижує приживання саджанців деревних рослин та їх зростання. Так, наприклад, приживання саджанців *Pinus virginiana* Mill. на нерозрівнених ділянках була в 2,5 рази вище, ніж на розрівняній. До того ж, на нерозрівнених ділянках середня висота чотирирічних рослин цієї сосни була на 36 см, а десятирічної *Pinus taeda* L. – на 243 см більша, ніж у одновікових рослин, що ростуть на ділянках, де було проведене перепланування поверхні відвалу. З цієї причини рекомендується проводити лісоозеленення відвалів без поверхневого переміщення породи, а якщо і робити це, то лише шляхом часткового зрізання гребенів відвалів [217]. При розрівнюванні поверхні відвалів за допомогою бульдозерів відбувається як розпушення, так і ущільнення верхнього шару породи. Такі вертикально-горизонтальні переміщення гірської маси несприятливі для лісових культур. У першому випадку в породі утворюються порожнини і потрібен час для її осідання, а в другому – надмірне ущільнення породи, що в кінцевому рахунку відбивається на приживанні і зростанні висаджених саджанців.

У США озеленення породних відвалів проводиться шляхом посадки саджанців і посіву насіння деревних рослин, головним чином, з метою озеленення та закріплення поверхні [208, 210, 219]. В окремих штатах до $\frac{1}{4}$ площі створених насаджень на відвалах придатні для отримання ділової деревини. Для таких цілей в основному використовують хвойні, а з листяних – швидкорослі види тополі. Посів насіння деревно-чагарникових рослин на техногенно порушених територіях в США нерідко проводиться з літака, а

також застосовують гідроспосіб з одночасним внесенням добрив і мульчі [121].

На території колишнього СРСР роботи з рекультивації промислово порушених земель активно почали проводити з другої половини XX століття. Лісова рекультивація відвалів сланцевих видобутків і фосфоритних кар'єрів з використанням 33-х видів деревно-чагарникових рослин показала, що до перспективних видів належать *Pinus sylvestris*, *Hippophae rhamnoides* і *Betula pendula* Roth. На шахтних відвалах Підмосковного вугільного басейну можна вирощувати *P. sylvestris*, однак життєстійкість цього та інших видів багато в чому залежить від наявної частки в відвалах токсичних сульфідизованих порід [53, 121].

До фіторекультивації залізрудних відвалів Криворіжжя приступили в середині 60-х років XX століття. Першопрохідниками лісової рекультивації були співробітники кафедри лісових культур Української сільськогосподарської академії, які в 1966 році на низькому відвалі «Східний» Ганнівського рудника Північного гірничозбагачувального комбінату (ПівнГЗК) здійснили посадку лісових культур на площі понад 30 га. Це був досвід класичної рекультивації, який передбачає нанесення на розкриті породи чорноземного шару (15–35 см). На цьому відвалі висаджувалася в основному *Robinia pseudoacacia* L. До кінця 70-х років на відвалі сформувалися зімкнуті насадження, вони мало відрізняються від насаджень на непорушених ґрунтах [114]. Особливість відвалу «Східний» в тому, що він складається з пухких порід, хоча у більшості залізрудних відвалів Криворіжжя на поверхні домінують скельні породи. До 1970 року на відвалі «Східний» посадки лісових культур також проводилися силами цеху озеленення Північного ГЗК, а після 1970 р. – виробничим трестом зеленого господарства м. Кривий Ріг. Нові технології з селективною відсипкою породи на багатьох відвалах Криворіжжя практично не застосовувалися, а тому родючий шар часто опинявся на значній глибині.

Перші досліді щодо рекультивації залізорудних відвалів без технічного етапу з висадкою рослин на відсипці скельних порід були проведені в 1969–1974 рр. під керівництвом інженера цеху озеленення Північного ГЗК В.Ф. Терещенко. Пізніше ним обґрунтовано екологічні принципи і прийоми підбору деревних і чагарникових порід для рекультивації скельних відвалів Кривбасу [175]. У 1974–1975 рр. співробітниками Криворізького філіалу Донецького ботанічного саду АН УРСР під керівництвом В.Є. Чайки були закладені дослідно-виробничі посадки в породу відвалів Північного ГЗК сіянців деревних і чагарникових рослин (40 га, 153 тис. сіянців), в основному *P. pallasiana* [83, 176].

У ранніх роботах з озеленення залізорудних відвалів, виконаних співробітниками Криворізького педінституту і НДІ рудовентиляції, придатними для цього вважали досить посухостійкі види – *Elaeagnus angustifolia* L., *Caragana arborescens* Lam., *Swida alba* (L.) Opiz, *Ligustrum vulgare* L. і *Robinia pseudoacacia* L. Співробітниками Дніпропетровського сільськогосподарського інституту, починаючи з 1962 року, закладалися вегетаційно-польові та польові досліді з рекультивації відкритих розробок залізних і марганцевих руд у Дніпропетровській, Кіровоградській, Кримській і Белгородській областях. Висівали на промислово порушених територіях сільськогосподарські культури, в основному злаки і багаторічні бобові трави [115, 120, 133, 150, 181].

З середини 70-х років XX століття і до нашого часу науково-виробничі заходи з озеленення залізорудних відвалів Криворіжжя з використанням деревних, чагарникових і трав'янистих рослин проводяться, як правило, співробітниками Криворізького ботанічного саду НАН України. Найбільший внесок в розробку наукових і практичних підходів внесли І.І. Коршиков, А.Ю. Мазур, В.В. Кучеревський, В.Д. Федоровський [43, 84, 87, 90, 103, 110]. Протягом більше, ніж 10 років автор брав активну участь у цих роботах [27, 55, 57–59, 86–90, 92, 132].

У степовій зоні, з її різко континентальним кліматом і малою кількістю опадів у весняно-літній період, на породних відвалах часто виникають через спеку і нестачу вологи екстремальні умови для деревних рослин [12]. Очевидно, що рослини, які вижили в цих умовах, особливо інтродуценти, максимально реалізують свій еволюційно сформований адаптивний потенціал. У період пробних посадок на відвалах необхідно застосовувати види, які відрізняються морозо-, посухо-, жаро- і солестійкістю, слабо вражаються хворобами і шкідниками, мають високу пластичність по відношенню до ґрунту, відрізняються хорошим ростом і розвитком у лісових насадженнях у степу [71, 182].

У 70–80-х роках минулого століття за істотної державної фінансової підтримки активно розроблялися різними науковими установами та науково-виробничими організаціями способи і прийоми фіторекультиваци відвалів. Для цього залучалися десятки, а іноді й сотні видів деревно-чагарникових рослин з колекцій ботанічних садів України. У результаті таких багаторічних посадок фактично був накопичений масштабний досвід випробування на стійкість до неоднорідних умов техногенних неоекотопів найбільш поширених видів деревних рослин-інтродуцентів. До нашого часу фактично завершено етап масового індикаційного випробування деревних видів-інтродуцентів в практиці озеленення відвалів. Треба відзначити, що підсумки цього масштабного інтродукційного експерименту повною мірою ще не були підведені.

У наступні десятиліття в Україні явно сповільнилися темпи лісової рекультиваци породних відвалів, а в багатьох випадках вона взагалі не проводиться. У світовій практиці методи і прийоми створення лісових культур постійно удосконалюються.

У наш час не приділяється така пильна увага фіторекультиваци гірничорудних відвалів, перш за все, через фінансово-економічні проблеми. Зараз необхідно організувати масштабний моніторинг для оцінки рівня озеленення відвалів і аналіз якісно-кількісних характеристик деревостанів

для з'ясування «стратегії життя» видів в екологічному розумінні цього терміну, а точніше – визначення біологічних потенцій виду в техногенних екотопах [132]. Для проведення цього моніторингу склалися об'єктивні умови: пройшов тривалий період експериментальної фіторекультиваци відвалів, на окремих із них були створені насадження, а багато відвалів, особливо не експлуатованих, пройшли природну стадію інтенсивного фізико-хімічного вивітрювання з вимиванням з їх поверхні токсичних солей, що сприяло поліпшенню якості едафотопу.

Очевидно, що види, які пристосувалися і сформували в ході онтогенезу в умовах відвалів стійкі насадження, слід віднести до найбільш перспективних для подальшого вивчення і використання в озелененні таких техногенно порушених територій.

1.2. Природне відновлення рослинності на породних відвалах

Відвали гірничорудного виробництва поділяють на два типи: а) ті, що потребують рекультиваци; б) ті, що заростають природним шляхом. Так, наприклад, з 1,3 млн. га земель, порушених відкритими гірськими розробками в США, 48% заросли природним шляхом, а 52% – рекультивовані [121]. У різних природно-географічних зонах, лісовій або степовій, природне заростання відвалів і сукцесійні ряди будуть абсолютно різними в залежності від природно-кліматичних умов, фізико-хімічного складу складеної у відвали породи, гідрологічного режиму, флористичного багатства, природної рослинності і т. д. Еволюція рослинності на відвалах буде відповідати певним зональним закономірностям, хоча можливий розвиток рослинних угруповань та окремих видів, не властивих даній фізико-географічній зоні [53, 121]. На відсипці вапняків, крейди, цементного мергелю, пухких розкривних порід у кар'єрно-відвальних ландшафтах Донбасу, розробка яких припинилася в 1917–1956 роках, формування рослинності проходить в чотири етапи: а) поселення бур'янів (5–10 років), б) рослинності лучного типу (через 8–10 років, тривалість до 20 і більше років),

в) рослинності лучно-степового типу (через 20–30 років, триває 10–20 років) і г) степової рослинності (з’являється через 50–60 років) [135].

Для рослин, що поселяються на відвалах, виключається дія такого потужного лімітуючого фактора, постійно присутнього в сформованих угрупованнях, як конкуренція за місце зростання, простір і ресурси. Природне заростання відвалів гірничорудних підприємств у степовій зоні України уповільнене в часі та просторі через несприятливі для багатьох видів рослин ґдафічні умови й накладені на них часті посухи і високі температури в весняно-літній період. Ймовірно, що тільки види рослин з широкою амплітудою екологічної пластичності, які володіють високим ступенем експансивності, можуть колонізувати ці потенційні екологічні ніші. Проникнення рослин на відвали може бути наслідком занесення їх насіння птахами чи іншими тваринами, а також природного розльоту насіння з близько розташованих насаджень.

Поселення рослин на гірських породах відвалів, їх зростання і розвиток з позицій обмінних процесів між субстратом і рослиною пов’язане з проявом родючості. «Ґрунт – родючий субстрат, що забезпечує розвиток автотрофа від насіння до насіння» [14].

Фізико-хімічний і механічний склад гірських порід, гідрологічний і температурний режим у поверхневому шарі відвалів зумовлюють специфіку і швидкість процесів формування природних фітоценозів, їх видовий склад, спрямованість сукцесій і синузальні особливості. Дослідженню процесів природного заростання промислових відвалів приділяється багато уваги. На різних відвалах на перших фазах сукцесії відзначають одноманітність, коли фітоценози характеризуються випадковим видовим складом і домінують рослини, насіння яких легко розноситься вітром. В.В. Тарчевський [174], який досліджував природне заростання промислових відвалів на Уралі, відзначає схожість цього процесу з заростанням природних відслонень мінеральних субстратів цього району. На початкових етапах заростання на відвалах мозаїчно формується рослинний покрив із представників

рудеральної флори – видів родин *Asteraceae*, *Chenopodiaceae* та *Polygonaceae*. У наступних стадіях заростання фітоценози на відвалах набувають зонального типу рослинності, зникають піонерні угруповання, формуються багатовидові і дво-три-ярусні зімкнуті угруповання з перевагою видів родин *Roaceae* та *Fabaceae*. На відвалах південних зон Уралу переважають трав'янисті рослини, а в лісовій зоні вже за 3–5 років на відвалах поселяються листяні види деревно-чагарникових рослин (тополя, береза, верба). У лісовій зоні заростання відвалів йде за рахунок деревно-чагарникових рослин, видовий склад яких залежить від віддаленості від джерел поширення насіння – природних або штучних насаджень. Через 18–20 років на цих відвалах може сформуватися зімкнутий деревостан [107].

У Підмосковному вугільному басейні і Кузбасі самосів деревних рослин на відвалах складає 2–3 тис шт/га і 10–20 тис шт/га відповідно. На конусоподібних відвалах вершини не мають зімкнутого деревно-чагарникового покриву, а процеси формування рослинного покриву на таких відвалах, складених важкими глинами й суглинками, безплідними пісками та супісками, проходять набагато повільніше [66].

На початковому етапі природного заростання відвалів поселяються піонерні види. У Підмосков'ї на відвалах серед піонерних видів виділяють *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. і *Robinia pseudoacacia*, які, виконуючи важливу меліоративну роль, сприяють збагаченню субстратів азотом, активуючи ґрунтоутворюючий процес [66].

Природне заростання породних відвалів прискорюється зі збільшенням їх віку. Так, наприклад, піонерна трав'яниста рослинність на відвалах рудників кольорової металургії Уралу і Сибіру з'являється через 4–5 років після завершення їх відсипки. На 10-річних відвалах Північно-Уральського бокситового рудника поселяються *Betula verrucosa* Ehrh., *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour., а на 26-річному відвалі виявлено вже 9 видів деревних рослин. Для озеленення цих відвалів рекомендується вивчення процесів їх природного заростання і на цій основі –

створення культурфітоценозів з багаторічних трав (переважно з родин *Poaceae* та *Fabaceae*) і деревних рослин, які пропонується розміщувати смугами на поверхні відвалів [194].

Слід підкреслити, що залізорудні відвали Криворіжжя, як основні структурні елементи техногенного ландшафту цього регіону, від самого початку позбавлені будь-якого рослинного покриву, також відрізняються за темпами природного заростання. Ці відмінності властиві не тільки окремим відвалам, але і різним частинам одного відвалу [92]. Відмінності в темпах і інтенсивності природного заростання відвалів одного типу залежать від способу доставки, наявності або відсутності селективного складення породи і віку відвалу. Якщо доставка породи здійснюється автотранспортом, то це призводить до ущільнення породи і погіршення умов розвитку рослинності [45, 51, 53, 60].

У найзагальніших рисах етапність самоорганізації розвитку техногенних екосистем має наступну послідовність: вихідна поверхня подрібнених гірських порід → перетворена гравітаційними, флювіальними та еоловими процесами поверхня гірських порід → випадкові рослинні угруповання на гірських породах → детерміновані екологічними умовами рослинні угруповання на ґрунтових корах → ускладнені рослинні угруповання на слаборозвинених ґрунтах → складні стабільні рослинні угруповання з популяційною, видовою, екосистемною біорізноманітністю на розвинених техноземах [151, 163, 199].

Теоретичні аспекти еко- і ценодинаміки рослинності, специфіки сингенезу в техногенному середовищі висвітлені в роботах В.І. Шанди, Н.В. Ворошилової та Л.В. Шанди [189]. У 70–80-х роках минулого століття увага дослідників заростання залізорудних відвалів була зосереджена на закономірностях формування трав'янистої рослинності [51, 82, 142, 188]. Аналізу таксономічного та екологічного складу рослинних угруповань відвалів південно-західної зони Кривбасу присвячені праці Я.В. Маленко [112, 190]. Розроблена Н.В. Хлизіною типологія літофільних сукцесій у

скельних екотопах відвалів Кривбасу включає субстратно-часові ряди, що розглядаються як стадії відновлення корінного зонального рослинного покриву [183–186]. Класифікація рудеральних угруповань м. Кривого Рогу і, зокрема, рослинності відвалів, розглядається в розробках Н.С. Єременко [60–62].

Робіт, присвячених природному лісовідновленню і формуванню піонерних популяцій деревних рослин на промислових відвалах, вкрай мало. Так, наприклад, встановлено, що в самосівних куртинах на відвалах Башкирського мідно-сірчаного комбінату домінують *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* і *Populus balsamifera* L., співвідношення яких в загальних угрупованнях становить 82: 10,5: 7,5 %, хоча на східній околиці цього відвалу дане співвідношення змінюється – 22,1:73,9:0. Лісовідновлення відбувається переважно по краях відвалів всіх експозицій, за винятком південної, де чисельність підросту порівняно низька. Це пов'язують з перегрівом породи в літню пору. До найбільш зарослих частин відвалу примикають природні деревостани *Betula pendula* і *Pinus sylvestris*, які і слугують джерелом насіння. На відвалах максимальний вік рослин цих видів становить 35 років. Проникнення деревних рослин на відвали почалося через невеликий період часу після їх відсипки. За величиною річного приросту молоді рослини цих двох видів на відвалах практично не поступаються одновіковим рослинам, що зростають поза даною техногенною територією [122].

На поширення спонтанної деревної рослинності у відвальних екотопах Кривбасу звернув увагу М.Г. Сметана, який розглядав рослинний покрив регіону під кутом зору синтаксономічної структури. Ця рослинність віднесена ним до 15 асоціацій трьох союзів класу *Robinietae Jurko ex Nadas et Sofron 1980* [164]. С.В. Ярковим відмічається тенденція зростання участі видів неморального флороценотипу із збільшенням віку відвалів; розвиток лісової рослинності він пов'язує з азональним петрографічним ефектом [204–205]. Пізніше відмічено, що первинними локусами формування деревних та

чагарникових угруповань є кам'янисті схили, здебільшого їхні нижні частини, куди скочуються великорозмірні скельні уламки та де накопичується достатня кількість продуктів вивітрювання. Серед чагарникових структур превалюють зарості *Cerasus mahaleb*, серед деревних – ценози з домінуванням *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus minor*, *Acer negundo*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Armeniaca vulgaris*, *Elaeagnus angustifolia*, *Populus deltoides* [138].

У багатьох видів листяних деревних рослин в умовах залізорудних відвалів Криворіжжя з усією очевидністю проявляються поглиблені зміни ростових формоутворюючих процесів. У нестійких видів значно сповільнюється зростання і часто молоді віргінільні особини переходять в субсенільний і навіть сенільний стан. У пластичних видів у несприятливих за еколого-едафічними умовами мікролокалітетах помітно знижується габітус з переважним утворенням пригнічених первинних або вторинних кущуватих форм. Окремі стійкі види реагують на умови відвалів високою вегетативною рухливістю, формуючи в ході життєвого циклу складні індивіди. Інші стійкі види, яким не властиве вегетативне розростання, інтенсивно відновлюються на відвалах насіннєвим шляхом, колонізуючи їх найрізноманітніші ділянки і утворюючи різні за площею мікросайти. Саме вегетативно рухливі і здатні до насіннєвого відновлення види є найперспективнішими для озеленення відвалів.

1.3. Еколого-біологічна характеристика сосни звичайної та сосни кримської

Інформація про еколого-едафічні умови природних середовищ існування *Pinus sylvestris* і *P. pallasiana* розширює уявлення про адаптивний потенціал цих важливих для Криворіжжя лісогосподарських видів.

Pinus sylvestris – широкоареальний вид, який займає велику територію на материку Євразія. Він поширений по всій лісовій зоні широкою смугою в півтори-дві тисячі кілометрів. Північна межа в європейській частині проходить по 67° північної широти, а південна – приблизно по 50° п. ш. Ця

сосна поширена по всій Європі до середземноморських країн. Утворює ліси-бори, переважно на піщаних і щебенистих ґрунтах. У Казахстані росте на підвищених ділянках в зоні сухих степів. У лісостеповій та степовій зонах на півдні ця сосна поширена в азональних місцях проживання, прив'язаних до гірських підвищень і височин, до піщаних, скельних відслонень і крейди. Володіє широкою екологічною амплітудою, здатна зростати на надмірно вологих (болота) і надзвичайно сухих субстратах з абсолютно різними фізико-хімічними властивостями [17]. У середині сімдесятих років ХХ століття соснові ліси України становили 35,1 % всіх лісів, займаючи площу 1872 тис. га [123].

У степовій зоні, де лісистість не перевищує 3,2 %, соснові ліси природного і штучного походження найчастіше зустрічаються на борових терасах Дніпра і Сіверського Дінця, а також на аренах цих річок. Тут соснові ліси представлені субформаціями: чисті соснові ліси (бори), дубово-соснові ліси (субори) і крейдянні бори. У сухих борах вік сосни може перевищувати 120 років. У свіжих борах степової зони 120-річні сосни мають середню висоту 28–30 м з діаметром стовбура в 40–42 см. За продуктивністю такі деревостани відносяться до I та II бонітету [123].

P. sylvestris може переносити як суворий клімат півночі, так і жаркий клімат степів, не боїться пізніх весняних заморозків. Вона першою з'являється на вирубках і відрізняється світлолюбністю, не вимоглива до ґрунту і до ґрунтової вологи. Будучи ксерофітом, вона здатна переносити фізичну сухість і зростає на дуже сухих піщаних дюнах. Коренева система *P. sylvestris* відрізняється великою пластичністю. У рослин аборигенних природних соснових лісів в степу поряд з невеликим стрижневим коренем утворюється велика кількість потужних горизонтальних коренів. У природних популяціях рослини формують перше насіння в 6–10 років, хоча частіше в 30–40 років. Врожайні роки зазвичай повторюються через 3–4 роки, проте чіткої періодичності урожаїв немає [85]. У стиглих сосняках на піщаних ґрунтах в середньому опадає на 1 га в рік понад 400 тис. насіння.

Шишки розкриваються в наших умовах в кінці березня – на початку квітня. Насіння, що потрапило в сприятливі едафічні умови, проростає зазвичай через 15–20 днів. Схожість насіння досягає 90 %, поступово знижуючись протягом 4–5 років. У однорічних сіянців зазвичай розвивається стрижневий корінець, що в 3–4 рази по довжині перевищує стебельце. За нормальних умов корінь росте в глибину до 40 років, а потім, в основному, розвиває тільки бічну кореневу систему. У кращих ґрунтових умовах на супіщаних і легкосуглинистих ґрунтах в центральній частині ареалу дерева *P. sylvestris* досягають до 80 років висоти 30–31 м. Для посилення процесу природного відновлення сосни на вирубках спеціально залишають деяку кількість здорових і добре розвинених дерев в якості насінників. Ці рослини протягом декількох років рясно обнасінюють вирубки. *P. sylvestris* може поселятися на відкритих просторах першою, будучи видом-піонером [39, 146, 195, 206].

Pinus pallasiana природно зростає в Гірському Криму. Це вельми специфічна екосистема з унікальними природними комплексами. Клімат південного берега Криму являє собою посушливий субтропічний варіант середземноморського типу і характеризується жарким сухим літом (середня температура липня +23...25°C), помірно теплою вологою зимою (середня температура січня +1,8...4,8°C). Середньорічна температура становить +13,3...13,9 °C, а середньорічна кількість опадів – 300–580 мм, при цьому вологість повітря тут найнижча для Криму – 67 %. Загальний дефіцит вологи перевищує в 2 рази кількість опадів. Сонячна радіація досить висока – понад 120 ккал / см² [141].

Спорадично зустрічається цей вид також у північно-західному Закавказзі, в західній частині Малої Азії, на островах Кіпр і Крит, а також у східній частині Балканського півострова. В горах піднімається до висоти 1200–1400 м (іноді до 1500 м) н. р. м.

Я.П. Дідух [46–47] виділив на південному макросхилі Кримських гір три лісорослинних пояси: нижній лісостеповий (0–400 м н. р. м.), середній лісовий пояс (від 400–450 до 800–900 м н. р. м.) і верхній лісовий (від 800–

900 до 1200–1300 м н. р. м.). Нижній пояс представлений геміксерофільними лісами, ксерофільними рідколіссями і саваноїдами. Південний берег Криму розташований від 0 до 400 м н. р. м., де переважають акумулятивні форми рельєфу, в основному зі схилами крутизною до 10°. На більш вирівняних формах рельєфу, де стік затруднений, на продуктах вивітрювання вапняків формуються червоні ґрунти. Вони поширені в заповіднику «Мис Мартьян», який розташований в межах центральної частини нижнього поясу південного макросхилу головного кряжу Кримських гір [192]. Особливістю цих ґрунтів є те, що після рясних дощів вони спливаються, тобто втрачають свою структуру, а при висиханні знову стають мікрозернистими і сипучими, тому поверхневий шар ґрунту в посушливий період завжди пухкий.

Найтипівішими для середньої і верхньої частин макросхилів гір є бурі глинисто- і суглинисто-щебенисті вилужені і слабопідзолисті малопотужні і еродовані ґрунти, серед яких зустрічаються окремі масиви червоно-бурих ґрунтів. Ці ґрунти мають рН 6,5–7,6 і бідні на гумус (5%) [99]. Середній лісовий пояс мезоксерофільних і ксеромезофільних субсередземноморських кримськососнових і неморальних скельнодубових лісів (від 400–450 до 800–900 м н. р. м.), в основному зі скульптурними формами рельєфу (урвища), характеризується помірним кліматом: від'ємною середньою температурою січня – 1,5...2,0 °С, середньорічною – +17...19 °С і достатньою кількістю опадів (700–800 мм) за вегетаційний період.

Рослинність верхнього поясу представлена неморальними буковими і бореальними сосновими лісами (від 800–900 до 1200–1300 м н. у. м.). Клімат помірний (середньорічна температура +7...8 °С), вологий, з надмірною кількістю опадів (до 1000 мм) [46, 56, 192]. В цілому, поясність цього регіону вкладається в середземноморський тип гумідного ряду, хоча на південному макросхилі гумідні угруповання в нижній частині заміщуються аридними, а у верхній – континентальними. Для соснових лісів Криму характерні різновікові популяції дерев, локальна наявність вітровально-ґрунтових

комплексів, валежу різних стадій розкладання і прогалін або «вікон відновлення» в основній частині лісу, що властиво клімаксовим лісам [169].

У Гірському Криму проходить північна межа природного поширення *P. pallasiana*, в зв'язку з чим ці ліси характеризуються вузькою еколого-ценотичною амплітудою. Ареал *P. pallasiana* простягається через три фізико-географічні краї і велику кількість ландшафтів Кримської гірської країни. Природні деревостани *P. pallasiana* представлені переважно просторово ізольованими, невеликими за площею ділянками лісу, гаями, групами і поодинокими деревами [143]. На північних схилах Кримських гір, що відрізняються за ґрунтово-кліматичними умовами і рослинним покривом, природні популяції *P. pallasiana* зустрічаються вкрай рідко [44, 46–47; 99]. На південному макросхилі Головного кряжу Кримських гір від смт Сімеїз до смт Малий Маяк зростає порівняно велика суцільна ділянка кримськососнового лісу, що простягається через чотири ландшафти. Тут *P. pallasiana* утворює самостійний висотний пояс в межах від 400–450 до 800–900 м н. р. м., але на окремих ділянках макросхилу заходить у нижче і вище розташовані пояси рослинності, займаючи висотний інтервал від 0 до 1300 м н. р. м. [46–47; 143]. В Ялтинському гірничо-лісовому заповіднику кримськососнові ліси займають перше місце за площею і складають понад 35% його території, або 4% всіх лісів Криму [47, 143, 192]. У Криму *P. pallasiana* поширена від Байдарської долини через Бахчисарай на схід і далі на південних схилах Головного кряжу гір. Природні соснові ліси Криму, що знаходяться на північній межі ареалу, мають низьку конкурентну здатність і слабо стійкі до впливу антропогенних чинників (випас, пожежі, вирубки), внаслідок цього їх площа скорочується [46–47].

Загальна площа природних лісів *P. pallasiana* в Криму становить близько 9 тис. га, з зімкнутістю крони 0,6–0,8. Середній вік деревостанів близько 40 років, а максимальний – 200–250 років. Деревя досягають висоти 15–20 м, хоча і зустрічаються рослини з висотою 23–28 м і діаметром стовбура 20–60 см. Кращі деревостани *P. pallasiana* мають II, а найбільш

поширені – III і IV бонітети. Окремі дерева *P. pallasiana* в Криму досягають висоти 20–30 м і до 1 м в діаметрі. Крона пірамідальна, широкояйцевидна, скелетні гілки кільчастоподібні, розташовані горизонтально, протягнуті, кора на стовбурах темно-сіра, тріщинувата, а у верхній частині – червона.

P. pallasiana – світлолюбна порода, стійка до нестачі азоту, води, кисню і надлишку солей в ґрунті. В межах однорідного кліматичного району вона зростає на різних ґрунтах, починаючи від чорноземів і закінчуючи бідними сухими піщаними і кам'янистими слаборозвиненими субстратами, часто поселяється в тріщинах скель, де скупчуються кам'янисто-уламкові породи і ґрунтові маси [99]. Оскільки це швидкозростаюча і високопродуктивна порода, її широко використовують в агролісомеліоративній практиці, а також в декоративному озелененні та лісорозведенні далеко за межами її ареалу. Штучні лісонасадження *P. pallasiana* створені як в гірському і передгірному, так і в степовому Криму. У південних областях України і Росії до початку 90-х років XX століття площа штучних насаджень *P. pallasiana* становила 22,9 тис. га. У степовій зоні України ця сосна широко використовується для заліснення ярів, непридатних земель, схилів і у віці до 25 років утворює насадження I класу бонітету.

Зростає на різноманітних ґрунтах, часто і на субстратах без ознак ґрунтоутворення – суглинках, вапняках, сланцевих відслоненнях [11].

Сосна кримська досягає менших розмірів, більш тіньовитривала, теплолюбна, жаростійка, посухостійка, гірше очищається від гілок, менше пошкоджується шкідливими комахами, ніж сосна звичайна. Вона формує збіжисті стовбури. Враховуючи ці лісівничі властивості сосни кримської, вона не має переваги порівняно з сосною звичайного при створенні промислових лісових культур в Поліссі і Лісостепу, проте може бути використана при залісенні пісків у Степу [101, 105].

Висновки по розділу:

1. Накопичений досвід рекультивації відвалів різних гірничорудних виробництв свідчить, що в їх озелененні явна перевага віддається деревним

рослинам. Оскільки породні відвали гірничодобувного виробництва в основному локалізовані в степовій зоні, то в їх озелененні в переважній більшості випадків використовувалися види-інтродуценти.

2. Фізико-хімічний і механічний склад гірських порід, гідрологічний і температурний режим у поверхневому шарі відвалів зумовлюють специфіку і швидкість процесів формування природних фітоценозів, їх видовий склад, спрямованість сукцесій і синузіальні особливості.

3. Інформація про еколого-едафічні умови природних середовищ існування *Pinus sylvestris* і *P. pallasiana* розширює уявлення про адаптивний потенціал цих важливих для Криворіжжя лісогосподарських видів.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Фізико-географічна характеристика території Криворіжжя

Криворізький регіон розташований на південному сході Центральної України. В адміністративному плані досліджувана територія відноситься до Дніпропетровської та Кіровоградської областей. Його географічна локалізація окреслена наступними координатами: північна межа – $48^{\circ}19'$ північної широти, південна – $47^{\circ}28'$ північної широти, західна – $32^{\circ}58'$ східної довготи, східна – $33^{\circ}47'$ східної довготи. Територія Криворіжжя становить 4,1 тис. км², що складає 0,67% від усієї площі держави. Протяжність з півдня на північ 96 км, з заходу на схід – 62 км [23, 147].

Регіон входить до складу Східно-Європейської полігенної рівнини, виникнення якої обумовлене великою тектонічною структурою – Східно-Європейською платформою. Північна частина Кривбасу (від горизонталі +100 м і вище) належить до Придніпровсько-Приазовської геоморфологічної області цокольних пластово-денудаційних височин (Азово-Придніпровська височина), Центральнопридніпровської денудаційної височини та її зниженої частини – Інгуло-Інгулецької лесової акумулятивної розчленованої рівнини. Південна частина регіону (від горизонталі +100 м і нижче) знаходиться у Причорноморській геоморфологічній області пластово-акумулятивних та пластово-денудаційних рівнин, Північно-Причорноморській рівнині [139].

Кривбас знаходиться у центральній частині Українського щита на межі двох різновікових геоблоків: Кіровоградського та Придніпровського. Розмежовує блоки Криворізько-Кременчуцький глибинний розлом мантийного закладення. Криворізька структура являє собою складну геологічну споруду в будові якої беруть участь породи верхнього архею, нижнього, середнього та верхнього протерозою, а також кайнозою. Антропогенові відклади, які мають безпосередній вплив на процеси

грунтоутворення складають постпліоценовий та плейстоценовий відділи. Постпліоцен представлений скіфським ярусом червоно-бурих глин, у верхній частині більш піскуватих, збагачених на кристаліки гіпсу і конкреції карбонатів. Плейстоценові відклади представлені субаеральними (леси з похованими ґрунтами) та алювіальними (відклади заплав і терас) утвореннями [125].

Морфоструктурний рельєф обумовлений розташуванням території Кривбасу в межах морфоструктур різного порядку. Регіон знаходиться в складі Східноєвропейської полігенної рівнини (морфоструктура I-го порядку), виникнення якої обумовлене великою тектонічною структурою – Східноєвропейською платформою. Північна частина Кривбасу (від горизонталі +100 м і вище) належить до Придніпровсько-Приазовської геоморфологічної області цокольних пластово-денудаційних височин (Азово-Придніпровська височина – морфоструктура II-го порядку), Центральнопридніпровської денудаційної височини (морфоструктура III-го порядку) і її пониженої частини – Інгуло-Інгулецької лесової акумулятивної розчленованої рівнини. Південна частина Кривбасу (від горизонталі +100 м і нижче) знаходиться в Причорноморській геоморфологічній області пластово-акумулятивних та пластово-денудаційних рівнин (морфоструктура II-го порядку), Північно-Причорноморській рівнині (морфоструктура III-го порядку) [113].

На території Криворіжжя протікають 8 річок. Усі вони входять до басейну Дніпра. Це Інгулець з притоками: Саксагань, Зелена, Жовта, Бокова (з притокою Боковенька), Вербова (притока Висуні, що, у свою чергу, впадає в Інгулець), а також Кам'янка – притока Базавлуку. Природна гідрографічна сітка замінена і частково знищена, особливо у середній та нижній течії Саксагані. На ріках, у балках та подах Кривбасу створено 5 водосховищ і понад 100 ставків [147].

Згідно зі схемою кліматичного районування Б.П. Алісова, Криворізький регіон належить до атлантико-континентальної європейської

недостатньо вологої, теплої області помірної кліматичної зони [5]. Характерними є м'яка малосніжна зима та жарке посушливе літо [1].

Середньорічна тривалість сонячного сяяння становить 2100–2300 год. Середні багаторічні показники сумарної радіації складають 4600–4800 МДж/м²; радіаційного балансу – 1975–2050 МДж/м². Середньомісячна температура повітря у січні складає –4...–3°C; у липні – +22,5...+23°C. Максимальна температура липня: +40°C; мінімальна температура січня: –30°C. Кількість опадів змінюється від 425 мм/рік на півночі до 382 мм/рік на півдні регіону. Максимум опадів випадає влітку, переважно у вигляді злив. Висота снігового покриву 9–11 см. Взимку звичайним явищем є відлиги. Тривалість безморозного періоду – 170 днів на півночі регіону і 180 – на півдні.

Сума опадів за вегетаційний період складає близько 160–250 мм. Середній показник випаровування для Кривого Рогу складає 740 мм, середній коефіцієнт зволоження –0,54, що характеризує регіон як територію з недостатнім і нестійким зволоженням [147].

При характеристиці регіональних кліматичних трендів необхідно враховувати похідні кліматичні явища, які виникають в гірничопромислових ландшафтах, де характеристики підстилаючої поверхні (одного з основних кліматотвірних чинників) змінюються. Це в свою чергу впливає на зміну радіаційного режиму та циркуляцію атмосфери і зміну загального термічного режиму території [147]. При співставленні клімадіаграм, побудованих за моделлю Вальтера – Госсена [24], виявляється тенденція до прояву в останні роки тривалих посушливих періодів переважно у другій половині літа та початку осені. Спостерігається також збільшення середньомісячних температур вегетаційного періоду приблизно на 5°C (рис. 2.1).

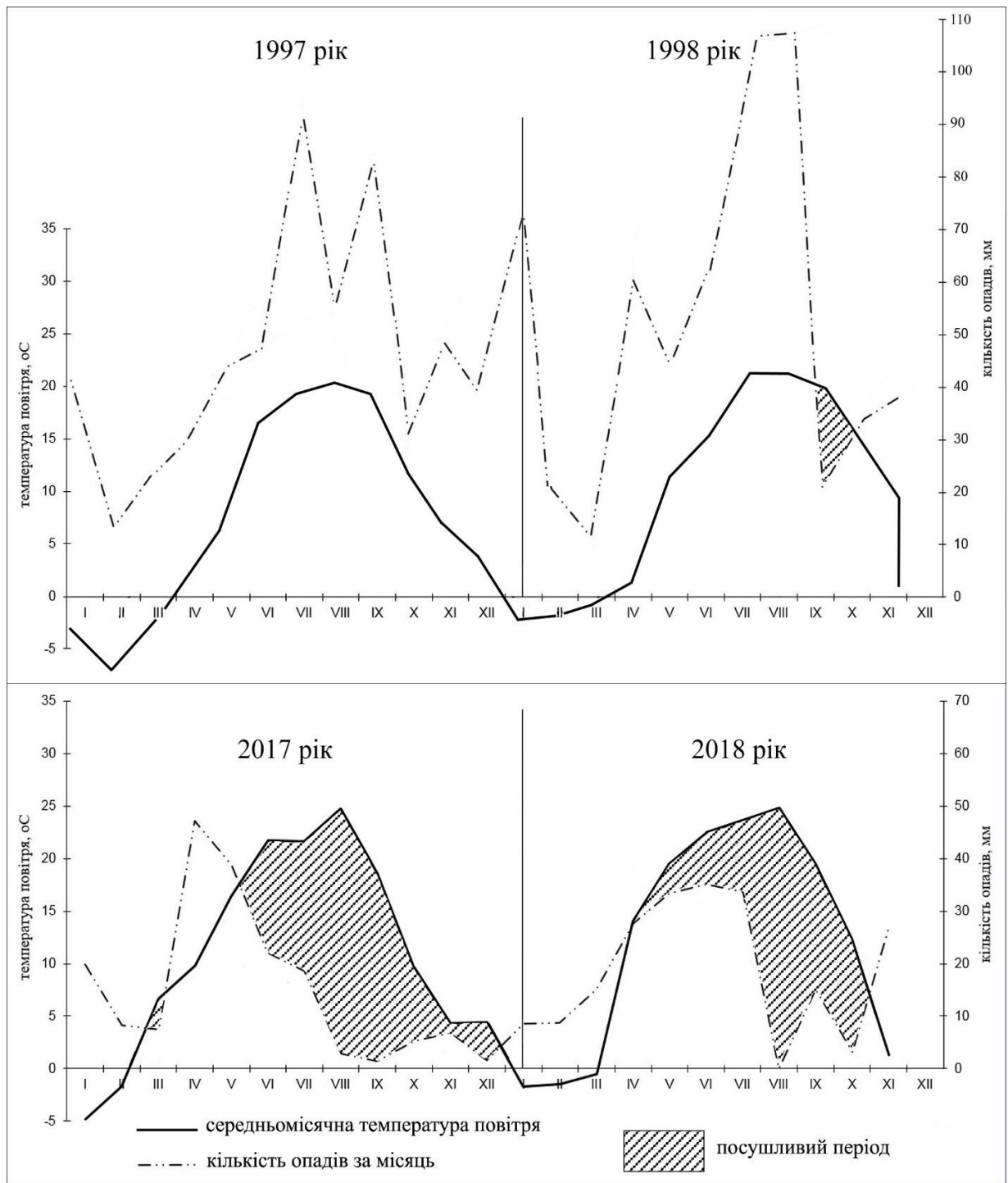


Рис. 2.1. Клімадіаграми 1997–1998 років (за даними метеостанції Лозуватка) та 2017–2018 років (за даними метеостанції «Davis 6152 C Vantage Pro 2», територія КБС НАН України)

У відповідності до агрогрунтового районування України досліджувана територія входить до складу Дністровсько-Дніпровської провінції підзони чорноземів звичайних; південна частина регіону заходить у межі Азово-

Причорноморської південнестепової провінції підзони чорноземів південних [25, 124].

Чорноземи звичайні малогумусні займають 67,5% площі Кривбасу. На півночі переважають важко-суглинисті, південніше – легкосуглинисті малопотужні різновиди з вмістом гумусу в орному шарі в середньому 3,4–5,2% (з коливанням від 2,0 до 6,0%). Південніше лінії Миколаївка – Широке – Радущне, де зменшується рівень зволоження, поширені чорноземи південні малопотужні малогумусні (20,3% площі регіону). У заплавах, а також у комплексі з піденними чорноземами на периферії подів і мікрозападин поширені ґрунти напівгідроморфного ряду – лучно-чорноземні. Вони займають 4,3% площі регіону. Ці ґрунти характеризуються великим запасом елементів мінерального живлення і глибоким гумусованим горизонтом потужністю 60–70 см. Лучно-чорноземні ґрунти, як правило, глибокосолонцюваті (слабо, рідше середньо і сильно солонцюваті) і осолоділі. На більш знижених і зволжених ділянках в комплексі з ними зустрічаються солонці лучностепові і осолоділі. На днищах балок і подів зустрічаються лучні засолені і чорноземно-лучні глибоко-слабосолонцюваті та слабосолончакуваті ґрунти, які насичені лугами. Вони характеризуються великою забезпеченістю елементами мінерального живлення і мають вміст гумусу 3,4–5,4%.

Ґрунти із різним ступенем еродованості займають 37% площі регіону. На порушених землях формуються примітивні, примітивні фрагментарні, коротко- та неповнопрофільні ґрунти [52].

Згідно новітньої схеми геоботанічного районування України територія Криворіжжя розподілена між двома крупними виділами – Бузько-Дніпровським (Криворізьким) округом різнотравно-злакових степів, байрачних лісів та рослинності гранітних відслонень та Бузько-Інгульським округом злакових степів, подових луків і рослинності вапнякових відслонень [48].

Сучасний рослинний покрив Криворіжжя має трансформований характер внаслідок інтенсивної господарської діяльності. Зональна степова рослинність нині існує лише на схилах балок та річкових долин. У північній частині вона представлена різнотравно-типчаково-ковиловими, а на півдні – типчаково-ковиловими степами. В результаті сільськогосподарського освоєння земель на Криворіжжі розорано майже 85% території. Природна рослинність збереглася лише на 0,5% території і має фрагментарний характер [102, 147]. Природних лісів у регіоні немає, крім невеликих масивів байрачних, розташованих в гирлах балок і по берегах річок [13]. В степу створені штучні лісові масиви (Гурівський ліс, Володимирівська дача, Широківське лісництво) та лісосмуги.

2.2. Особливості техногенних ландшафтів Криворіжжя

На Криворіжжі багато десятиліть ведеться видобуток залізної руди відкритим способом. На території потужної промислової зони загальною площею близько 600 км² кар'єрами та зонами обвалення зайнято 40 км²; близько 70 км² займають сховища відходів збагачення залізних руд, стільки ж знаходяться під відвалами розкривних порід [7] (рис. 2.2).



Рис 2.2. Техногенні ландшафти в центральній частині м. Кривий Ріг

У Криворізькому гірничо-промисловому районі є залізні руди двох генетичних груп: метаморфічні і гіпергенні. Магматичні і метаморфічні породи докембрію (граніти, гнейси, мігматити, сланці, кварцити, залістисті кварцити) перекриті осадовим чохлом потужністю до 80 м, створеним із порід палеогену і неогену. В геологічній будові Криворізького залізорудного басейну беруть участь докембрійські осадово-метаморфічні породи так званої криворізької серії. Вони розділяються на три свити, з яких середня представлена породами залізорудної формації і має потужність до 2000 м. Ця основна рудоносна товща складається з 7–8 шарів залістистих кварцитів і сланців. Нижня свита представлена амфіболітами, аркозами, філітами, тальковими сланцями. Корінні породи всюди покриті осадовими відкладеннями, які складаються з лесовидних суглинків, бурих і червоно-бурих глин і пісків. Потужність осадових відкладень коливається від 15 до 40 м [31].

Основне промислове значення на даний час мають неокислені магнетитові і залізнослюдово-магнетитові кварцити із середнім вмістом загального заліза 27–35 %. Багаті залізні руди містять 46–70 % заліза. Близько 80 % всіх запасів багатих руд в основному складають мартитові руди. У цих рудах в невеликих кількостях містяться домішки сірки, фосфору, миш'яку та до 1-10 % кремнезему. Розвідані запаси магнетитових кварцитів для відкритої розробки складають близько 13 млрд. т [147].

Внаслідок складування розкривних порід на земній поверхні утворюються відвали, які є однією з провідних форм техногенного рельєфу. Вони формуються із застосуванням великовантажних автомобілів і залізничного транспорту. Відвал – це позитивна акумулятивна форма техногенного рельєфу, в межах якої відбувається накопичення мінерального матеріалу. За всіма морфометричними показниками відвали належать до мезорельєфних форм. На поверхні вони ускладненні мікро- та наноформами [147].

Залежно від часу експлуатації відвали можна розділяти на молоді, де активно триває відсипання породи на більшій частині їх поверхні, зрілі – відсипання породи проводиться тільки з однієї частини відвалу і старі – відсипання породи давно припинене.

Морфологічній будові відвалів притаманні такі елементи як підніжжя, схил, бровка плато, поверхня плато. В будові багатоярусних беруть участь 2–5 і більше ярусів-терас, з площадкою (бермою), схилом, підніжжям та тиловим швом [147] (рис. 2.3).

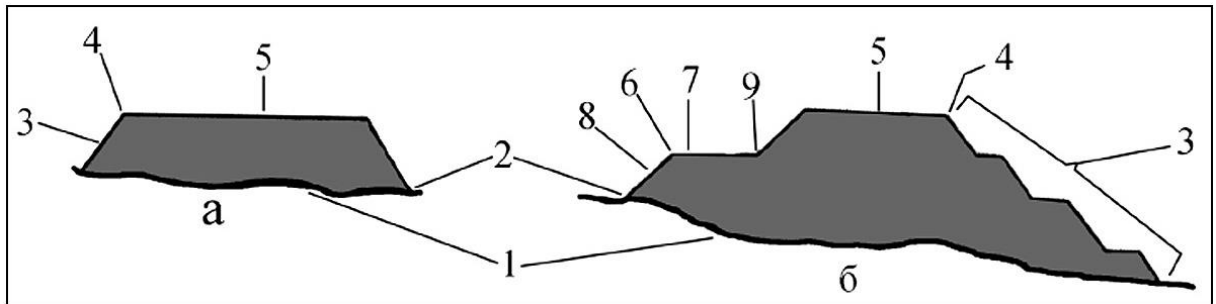


Рис. 2.3 – Морфологічні типи відвалів (за В.Л. Казаковим [75]): а – одноярусний платоподібний; б – багатоярусний платоподібний. Морфологічні елементи відвалів: 1 – підшва; 2 – підніжжя; 3 – схил; 4 – бровка плато; 5 – поверхня вершинного плато; 6 – бровка ярусу (берми); 7 – берма (площадка ярусу); 8 – схил ярусу; 9 – тильовий шов

Гірські породи, складені у відвали, піддаються фізичному вивітрюванню – руйнуванню без зміни мінерального складу (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Фізико-хімічне вивітрювання сланців і кварцитів на залізородних відвалах Криворіжжя

Фізичне вивітрювання гірських порід сприяє їх хімічному вивітрюванню. Хімічне вивітрювання відбувається внаслідок взаємодії породи з повітрям, водою, розчинами, різними газами, виділеннями і залишками рослин і тварин. В результаті утворюються глинисті і лесові породи з різним характером структурних зв'язків – іонно-електростатичних, молекулярних, капілярних і ін. Ці процеси активізують мікроорганізми, які поселяються на породах, а також рослини за рахунок корневих виділень. Ступінь вивітреності порід зменшується з глибиною, а тому умови залягання і потужність елювію різні. Елювій накопичується в мінімальній кількості на схилах, де він легко змивається опадами і талими водами. Максимальна потужність елювію спостерігається в пониззях рельєфу. Процеси вивітрювання тісно пов'язані з ґрунтоутворенням. Цьому сприяє потрапляння в елювіальні відкладення залишків життєдіяльності рослинних і тваринних організмів.

До складу розкривних порід, з яких відсипані відвали у північній частині Кривбасу, входять низькокондиційні та некондиційні залізні руди (магнетит-силікатні кварцити), різного складу сланці, безрудні кварцити та осадові породи (пісок, глина, суглинки, вапняки) [77]. Відсипані породи характеризуються різним гранулометричним складом – від мулової фракції (глини, суглинки) до крупних уламків і глиб скельних порід [52].

Деяким гірським породам, що відсипаються у відвали, притаманна фітотоксичність, яка має динамічний характер. Нетоксичними є лесовидні суглинки, леси, кварцити, граніти, мігматити, діабазити тощо. Серед сланцевих порід найбільшу токсичність для рослин являють собою талькові сланці в період інтенсивного гіпергенезу; серед карбонатних – вапняковий рухляк [167].

На відвалах процеси ґрунтоутворення протікають досить інтенсивно: тут відбувається формування специфічних структур ґрунтового покриву. Домінуючими у таких структурах є елементарні ґрунтові ареали своєрідних примітивних ґрунтів, субстратів з ознаками та без ознак ґрунтоутворення.

Природні аналоги таких ґрунтів зазвичай приурочені до оголень відшарувань кристалічних порід [52].

На різних схилах промислових відвалів формуються свої мікрокліматичні умови, які залежать від експозиції, крутизни і висоти схилів. Вдень схили різної експозиції при однаковому нахилі отримують різні суми сонячної радіації. Мікроклімат схилів залежить від вітрового режиму: на вітряній стороні відбувається перенесення тепла, а на підвітряній стороні – застій повітря і сприятливі умови для перегріву. Ці контрасти в розподілі атмосферних опадів помітно відбиваються на інтенсивності поверхневого стоку, водної ерозії та інших природних процесах на схилах різної експозиції. У сніжні зими навітряні схили можуть залишатися без снігу, що накопичується на підвітряних схилах. Навесні талими водами на цих схилах змиваються частки ґрунтового покриву. Відмінності в зволоженні схилів також відображаються на їх термічному режимі і тепловому балансі. Влітку схили південної експозиції інтенсивніше прогріваються, ніж схили північної сторони, особливо в безвітряну погоду. У нічний час схили охолоджуються інтенсивніше, ніж горизонтальні поверхні. Наявність лісової рослинності на схилах впливає на різні параметри їх мікроклімату. У червні-серпні в Україні розвиваються типові літні погодні процеси, аномальні в останні роки через високі температури. В цей час мікрокліматичні контрасти на різних формах і експозиціях рельєфу, включаючи кар'єри і відвали відкритих гірських розробок, зазвичай досягають максимальних значень [201]. Очевидно, що на відкритих ділянках залізорудних відвалів температура поверхневого шару породи в останні роки стає лімітуючим фактором для виживання рослин, особливо на ранніх стадіях їх розвитку.

У регулюванні водного режиму на відвалах важливе значення має не тільки кількість опадів, терміни їх випадання, але і водно-фізичні властивості субстратів. Порода відвалів, як правило, відрізняється низькою вологоємністю і вологоутримуючою здатністю.

Спочатку відвали гірських порід, є первинними екотопами, вільними від будь-якої рослинності та без ознак ґрунтоутворення [33, 190] (рис. 2.5). Подальше поселення і розвиток рослинності на відвалах здійснюється шляхом сукцесійних процесів. Процеси сингенезу проходять одночасно з процесами первинного ґрунтоутворення на промислових відвалах, де закладається майже «стерильна» порода.



Рис. 2.5. Малодоступні для рослин екотопи на відвалах Криворіжжя

На думку багатьох дослідників, всі розкривні породи потенційно родючі, але ступінь їх родючості різна і нерідко буває надзвичайно низькою [16]. Перш за все, фізико-хімічні процеси вивітрювання породи відвалів перетворюють її із стерильного субстрату в доступне середовище для формування і активації ґрунтових мікроорганізмів. На інтенсифікацію ґрунтоутворювального процесу на відвалах впливають заселені на них рослини, корені яких, виділяючи хімічні речовини, сприяють перетворенню недоступних елементів мінерального живлення в доступні [178, 202, 210–211, 229]. Розвиток природної рослинності на породних відвалах – надійний показник їх придатності для біологічної рекультивації.

2.3. Об'єкти й методи досліджень

Полеві дослідження проводились протягом 2005–2016 років. В межах Криворізького залізорудного басейну вони здійснені на трьох

моніторингових ділянках, що являють собою виведені з експлуатації залізорудні відвали (рис.2.6).



Рис. 2.6. Географічне розташування відвалів, на яких проводились дослідження: 1 – Першотравневий; 2 – Автовідвал; 3 – Петрівський

Контролем слугували насадження сосен в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (рис. 2.6). Для порівняльного генетичного аналізу *P. pallasiana* використані дані, отримані з двох природних популяцій та самовідновлення її на згарищах у Гірському Криму, а *P. sylvestris* – з чотирьох степових природних популяцій в Луганській і Харківській областях.

Під час вибору, закладки, опису пробних ділянок, оцінки стану деревної рослинності в насадженнях на відвалах і в природних популяціях

використовували науково-практичні положення, розроблені В.М. Сукачовим [145, 173].

Першотравневий відвал сформований в 1968–1973 рр. із залізистих кварцитів, сланців, суглинків та частково глин. Він має 3 берми. Мікрорельєф відвалу представлений складним комплексом пагорбів, западин, схилів та плато. Значна розчленованість поверхні зумовлена неоднорідністю автомобільної відсипки. З західного боку відвал межує з Першотравневим кар'єром, зі східного – з балкою Грядкувата, яка виконує на сьогодні функцію водовідсічного дренажного каналу [168] (рис. 2.7).

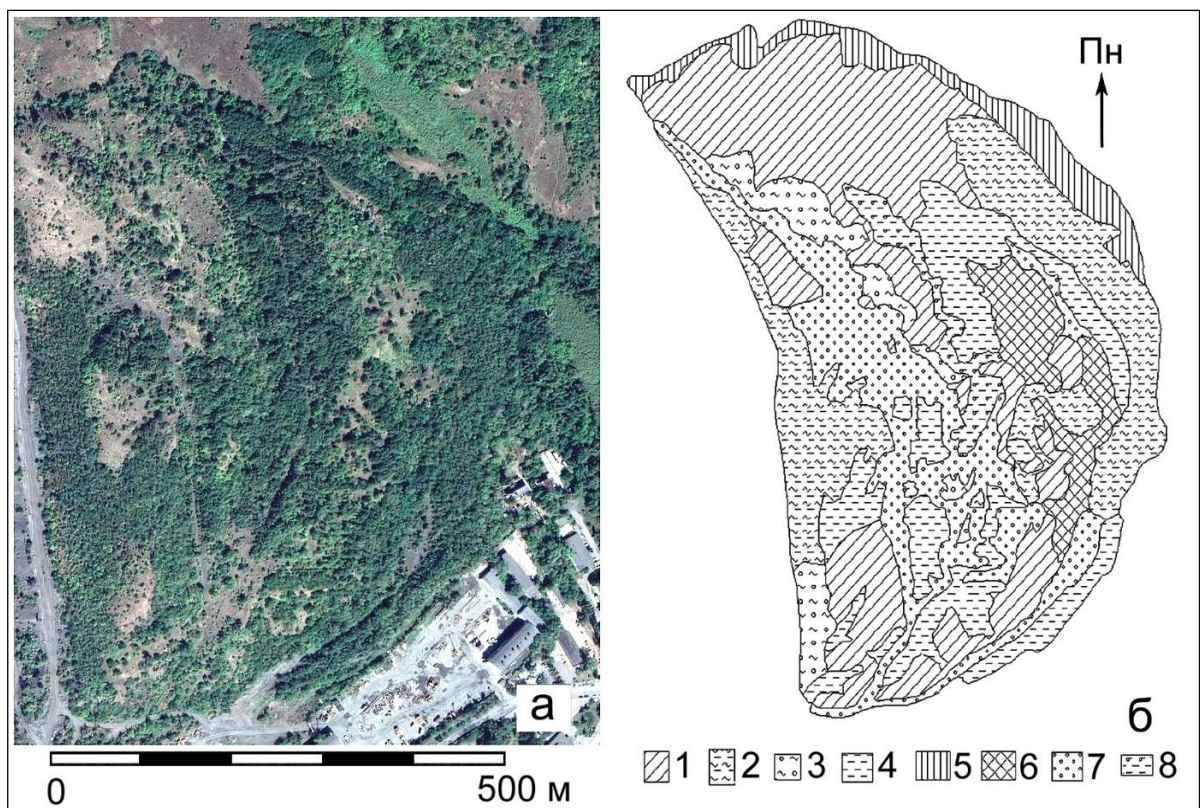


Рис. 2.7. Першотравневий відвал: а – космічний знімок; б – картосхема літохімічної диференціації відвалу (за О.М. Сметаною та ін. [168]).

Примітка. Умовні позначення: 1 – суглинки; 2 – суміш суглинків та сланців; 3 – суміш суглинків та щербенистих кварцитів; 4 – сланці; 5 – глинисті та суглинисті породи; 6 – крупноуламкові кварцити; 7 – кварцитовий щебінь; 8 – суміш кварцитів зі сланцями

Рослинний покрив представлений деревними, деревно-чагарниковими та трав'яними угрупованнями. Рекультиваційні хвойні насадження з *Pinus pallasiana* характеризуються напівосвітленим та напівтіньовим типом світлової структури. Зімкненість деревного ярусу 0,6 – 0,8 [134].

Другий відвал – Автомобільний, є одноярусним. Формування його відбувалось на початку 70-х років минулого століття. Вершина відвалу куполоподібна, мікрорельєф ускладнений горбами. В літологічному складі переважають суміші суглинків та сланців, а також кварцитів зі сланцями. Рослинний покрив утворений переважно штучними мертвопокровними насадженнями *Pinus pallasiana* та *P. sylvestris*, зімкнутість яких становить 0,7 – 0,8 (рис. 2.8, а).



Рис. 2.8. Космічні знімки відвалів: а – Автомобільного; б – Петрівського

Формування 4-ярусного Петрівського відвалу ЦГЗК розпочате у 1977 році. Відвал розташований на лівому березі Іскрівського водосховища між смт Петрово та с. Богданівка (рис. 2.8, б). У геологічній будові Петрівського родовища скельні розкриті породи представлені біотит-плагіоклазовими мігматитами кіровоградсько-житомирського комплексу та плагіоклаз-амфібол-біотитовими гнейсами зеленоріченської світи та плагіоклаз-біотитовими гнейсами радонівської світи. Осадкові відкладення на площі родовища представлені суглинками, пісками, супісками і глинами палеоген-неогенового та четвертинного віку. Цими ж геологічними породами у різних пропорціях складено відвал. Рекультиваційні посадки сосни тут ніколи не проводилися. Заліснення за рахунок *Pinus sylvestris* відбувається

шляхом занесення насіння з прилеглих насаджень біля підніжжя відвалу з південно-східного боку.

На відвалах визначали місце розташування соснових насаджень, їх площу, кількість рослин на обліковій ділянці в 100 м², вік рослин, їх висоту, середній діаметр стовбура на рівні грудей, діаметр крони [63]. Візуально оцінювали охвоєність крони за 5-бальною шкалою і життєвий стан рослин за 3-х бальною шкалою: нормальне (3), ослаблене (2), пошкоджене (1) [73].

Визначали репродуктивну активність за весь період життя рослини, підраховуючи під його кроною кількість шишок в опаді. Виділяли по 5 дерев в насадженнях з максимальною і мінімальною кількістю опалих шишок. У решти дерев облікової ділянки репродуктивну активність визначали візуально, виділяючи особини, у яких були відсутні шишки (0 балів), кількість шишок була зовсім невеликою (1 бал), малою (2 бали), середньою (3 бали), високою (4 бали) і дуже високою (5 балів).

В опаді шишок п'яти дерев облікової ділянки збирали по 10 шишок минулорічного врожаю, зважували їх і підраховували у них загальну кількість лусочок, кількість репродуктивних лусочок у фертильній зоні шишки і кількість вм'ятин від нормально розвиненого насіння. Це дозволило з'ясувати потенційну і фактичну насінневу продуктивність рослин в урожаї попереднього року [153]. Під кроною дерев на обліковій ділянці визначали насіннєве відновлення *P. pallasiana*. Вивчали структуру і встановлювали вагу опадку хвої на ділянках в 0,5 м². Запас некромаси, що складається з відмерлих гілок живих дерев, визначали на ділянках в 5 м². Кількість хвої, шишок і гілок і їх маса в підстилці характеризують біологічну продуктивність відторгненої органічної речовини рослинами в ході онтогенезу [41, 106, 207], а весь запропонований комплекс ознак – життєстійкість виду. В якості контролю використовували дуже близьке за віком насадження *P. pallasiana* в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС). За такою ж схемою проводили дослідження життєздатності *P. sylvestris* на Автовідвалі та в дендрарії ботанічного саду.

Морфометричні вимірювання самосіву (висоту рослин, діаметр стовбура біля кореневої шийки, величину річного приросту осевого і бічних пагонів) виконували на пробних ділянках в 100 м² в центральних частинах мікропопуляцій. Відновлення і ростові показники *P. pallasiana* вивчали на трьох відкритих згарищах, площею 2–5 га, розташованих локально на відстані 200–700 м один від одного в гірській популяції в середньому її поясі, на макросхилі поблизу селища Нікіта в Гірському Криму. На кожній ділянці згарищ закладали по три пробні площини 100 м² та визначали загальну кількість рослин, їх вік, висоту рослин, діаметр стовбура біля основи, річний приріст осевого і бічних пагонів. За такою ж схемою були проведені дослідження самосіву *P. pallasiana*, яка формується на залізородних відвалах, раніше посаджених деревних особин на ньому і активно насінненосних дерев, що досягли 30–40-річного віку.

Кореневу систему у молодих рослин *P. pallasiana* і *P. sylvestris* в мікропопуляціях на залізородних відвалах Криворіжжя і в штучних насадженнях степу вивчали за методикою П.К. Красильникова [100].

У молодих рослин запилених сім'ябруньок, відповідно до методики розрахунків за М.Г. Романовським [153]. Аналіз показників насінневої продуктивності здійснювали за методичними розробками Т.П. Некрасової [130] та М.Г. Романовського [153]. Кількість опадів та потужність і морфологічну будову підстилки визначали за методичними рекомендаціями Л.О. Карпачевського [76] та Є.Л. Воробейчика [28].

Для оцінки їх життєвого стану використовували шкалу В.А. Алексєєва [4], диференціюючи дерева на здорові, ослаблені (пошкоджені), сильно ослаблені (сильно пошкоджені), відмираючі і сухостій. Ця базова класифікація дерев, яка не виключає проміжних градацій, наприклад, введення категорії дерев, пригнічених в зростанні і розвитку [227].

Генетичну структуру самосівних деревостанів *P. pallasiana* на одному із згарищ в Криму і на Першотравневому відвалі вивчали, використовуючи в якості молекулярно-генетичних маркерів ізоферменти 9 ферментів

мегагаметофітів насіння, зібраних з насіннєносних дерев. Застосовували метод електрофоретичного розділення ізоферментів у вертикальних пластинках 7,5%-го поліакриламідного гелю з рН розділяючого гелю 8.9 в трис-гліциновому електродному буфері з рН 8,3 [209]. Екстракти для аналізу отримували з гаплоїдних тканин ендоспермів насіння. В якості молекулярно-генетичних маркерів використовували ізоферменти 8 ферментних систем: глутаматдегідрогенази (GDH, К.Ф. 1.4.1.2), глутаматоксалоацетаттрансамінази (GOT, К.Ф. 2.6.1.1), супероксиддисмутази (SOD, К.Ф. 1.15.1.1), малатдегідрогенази (MDH, К.Ф. 1.1.1.37), діафори (DIA, К.Ф. 1.6.4.3), кислій фосфатази (ACP, К.Ф. 3.1.3.2), алкогольдегідрогенази (ADH, К.Ф. 1.1.1.1), лейцинамінотрипептидази (LAP, К.Ф. 3.4.11.1). Генотип дерева визначали по сегрегації (поділу) алелей в вибірках не менше 8 гаплоїдних ендоспермів. Для порівняльного генетичного аналізу мікропопуляції *P. pallasiana* на відвалі використовували дві природні популяції Гірського Криму: одна – поблизу селища Нікіта, а друга – в районі селища Долосси, вік рослин 80–100 років. Генетичні відмінності двох мікропопуляцій *P. sylvestris* на залізрудних відвалах з'ясовували, використовуючи чотири степові природні популяції цього виду в Луганській і Харківській областях. Дані для природних популяцій *P. pallasiana* і *P. sylvestris* були запозичені з опублікованих робіт І.І. Коршикова. Для визначення рівня мінливості, розподілу і диференціації досліджуваних деревостанів використовували традиційні показники популяційної генетики: частоти алелей і генотипів, фактичну (H_O) і очікувану (H_E) гетерозиготність, середнє число алелей (A) на локус, частку поліморфних локусів за 99%-вим (P_{99}) критерієм. Міжпопуляційну алельну гетерогенність оцінювали за допомогою стандартного χ^2 -тесту [49]. Генетичний розподіл *P. sylvestris* характеризували, використовуючи коефіцієнти F-статистики Райта і G-статистику Нея, розраховуючи їх за відповідними формулами [6, 49, 220]. Для кількісної оцінки генетичної диференціації популяцій обчислювали генетичні відстані Нея (DN) [220]. Матриці генетичних відстаней (DN)

піддавали кластерному аналізу з побудовою дендрограм за методом невиважених парно-групових арифметичних середніх (UPGMA) [224].

Запропоновані в роботі системні показники придатності едафотопів для лісової рекультивації розроблені в ході п'ятирічних маршрутних обстежень стану рослинності [92].

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою пакетів комп'ютерних програм BIOSYS-1 [226], GenAlEx V.6 [221] та GenRes [42].

РОЗДІЛ 3

ЖИТТЄСТІЙКІСТЬ ТА АДАПТИВНІ ФЕНОТИПОВІ ЗМІНИ ДВОХ ВИДІВ СОСЕН У НАСАДЖЕННЯХ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ

Біологічні потенції інтродуцента в нових місцях проживання визначаються на основі аналізу його життєстійкості. Єдиного універсального критерію життєстійкості не існує. Інтродуктори в цілому намагаються знайти систему показників, що відображають реалізацію адаптивного потенціалу виду, що забезпечує йому повний або незавершений онтогенез в нових місцях проживання. Загалом, із загальнобіологічних позицій, оцінюючи успішність інтродукції видів рослин, ми фактично визначаємо життєвість або адаптивний потенціал виду за межами його природного ареалу [193]. Основний критерій життєвості виду в конкретних умовах існування – життєвий стан на різних етапах онтогенезу. Здатні до природного поновлення насіннєвим та / або вегетативним способом інтродуценти характеризуються високою життєздатністю. Серед таких видів особливо слід виділити ті, які інтенсивно розселяються в нових едафотоплах, включаючи ті, де відсутній рослинний покрив [87].

3.1. Сосна кримська в насадженнях на відвалах Криворіжжя

Перші посадки сіянців *P. pallasiana* в техногенних ландшафтах Криворіжжя на Першотравневому відвалі були проведені в 1974 р. Навесні 1976 р. дворічні сіянці *P. pallasiana* з розсадників Дніпропетровської та Херсонської областей, висаджені в різних експозиціях на різних субстратах відвалу, мали висоту 8,7–12,6 см; їх річний приріст у висоту становив 1,9–3,2 см. Сіянці успішно прижилися на сланцях з домішкою кварциту і глини, суглинках з домішкою сланцю, кварциту і глини [137, 165]. У наявних насадженнях *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі збереглася більшість висаджених екземплярів (рис. 3.1).



Рис. 3.1. *Pinus pallasiana* на схилах Першотравневого відвалу в зимовий час

Була застосована схема посадки 2,5 м між рядами і 1,5 м в рядку, що дозволяло на 100 м² поверхні відвалу висаджувати 27–30 сіянців *P. pallasiana*. Через 29–35 років на різних ділянках відвалу збереглося від 10 до 25 рослин на 100 м², що становить 38,5–96,0 % від тих сіянців, які були висаджені першими.

У 2008 р. при обстеженні насаджень *P. pallasiana* на відвалі, максимальна площа яких становить приблизно 1 га, не виявлено суховершинних дерев, як і особин, загиблих із природних причин. За деяким винятком, дерева в усіх насадженнях були репродуктивно активними, про що свідчить опад шишок врожаю різних років під їх кронами. В середині шести насаджень на бермах відвалу відбувається насіннєве відновлення, виявлені 1–10-річні сіянці (табл. 3.1). У двох насадженнях на схилах відвалу і в дендрарії КБС відновлення відсутнє.

Таблиця 3.1

Морфометричні характеристики і життєвий стан рослин *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі та в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України

№ облікової ділянки	Місце розташування насадження, порода або ґрунт	Площа насаджень, м²	Загальна кількість дерев 100 м² / з них насінненосних	Висота, м $\frac{M \pm m}{CV, \%}$	Діаметр		Охвоє-ність $\frac{M \pm m}{CV, \%}$	Життєвий стан, бал / вік рослин	Кількість самосіву під пологом / його вік
					стовбура, см $\frac{M \pm m}{CV, \%}$	крони, м² $\frac{M \pm m}{CV, \%}$			
1	Третя берма, вершина відвалу 42 м, кварцит	305	10/7	$\frac{9,0 \pm 0,5}{16,5}$	$\frac{15,4 \pm 1,0}{19,8}$	$\frac{3,5 \pm 0,2}{21,6}$	$\frac{3,7 \pm 0,3}{29,6}$	3/30	1/3, 1/8, 3/5
2	Третя берма, вирівняне плато, кварцит	180	25/25	$\frac{6,0 \pm 0,38}{24,0}$	$\frac{16,1 \pm 0,9}{27,6}$	$\frac{4,1 \pm 0,2}{24,2}$	$\frac{3,7 \pm 0,2}{26,3}$	3/30	39/2
3	Третя берма, горбисто-западинний мікрорельєф, кварцит	625	14/13	$\frac{6,8 \pm 0,4}{23,7}$	$\frac{17,3 \pm 1,5}{33,3}$	$\frac{4,1 \pm 0,3}{26,5}$	$\frac{3,9 \pm 0,2}{20,0}$	3/30	3/4 3/5 1/8 3/10
4	Друга берма, висота 30 м, кварцит	600	15/15	$\frac{8,8 \pm 0,5}{20,3}$	$\frac{17,5 \pm 1,1}{24,2}$	$\frac{4,3 \pm 0,3}{24,5}$	$\frac{3,7 \pm 0,2}{19,7}$	3/30	1/2
5	Друга берма, кварцит	5000	18/18	$\frac{8,2 \pm 0,4}{18,9}$	$\frac{18,1 \pm 1,01}{23,4}$	$\frac{4,3 \pm 0,2}{24,1}$	$\frac{4,1 \pm 0,1}{11,5}$	3/30	3/2
6	Друга берма, біля підніжжя схилу, кварцит	10000	12/12	$\frac{8,8 \pm 0,5}{20,4}$	$\frac{16,3 \pm 1,3}{26,8}$	$\frac{3,5 \pm 0,2}{19,9}$	$\frac{3,3 \pm 0,2}{19,5}$	3/30	1/2
7	Південно-східний схил другої берми, кварцит	10000	25/25	$\frac{11,8 \pm 0,3}{12,5}$	$\frac{10,7 \pm 0,6}{29,6}$	$\frac{2,7 \pm 0,1}{17,7}$	$\frac{3,4 \pm 0,1}{19,0}$	2/30	0/0
8	Південно-східний схил другої берми, кварцит	10000	25/25	$\frac{12,1 \pm 0,3}{13,2}$	$\frac{13,7 \pm 0,7}{25,0}$	$\frac{3,1 \pm 0,1}{16,0}$	$\frac{3,5 \pm 0,1}{14,5}$	3/30	0/0
9	Дендрарій Криворізького ботанічного саду, чорнозем	250	14/14	$\frac{10,6 \pm 0,5}{19,0}$	$\frac{25,6 \pm 0,9}{13,0}$	$\frac{4,5 \pm 0,2}{12,5}$	$\frac{3,9 \pm 0,2}{18,6}$	3/25	0/0

Аналіз морфометричних характеристик рослин дозволив встановити гірші і кращі умови зростання для *P. pallasiana* на Криворіжжі. Як і слід було очікувати, кращими вони виявилися на чорноземі в дендрарії КБС. Тут молодші дерева (27 років) відрізнялися, насамперед, великими розмірами крони і діаметром стовбура.

На Першотравневому відвалі найвищими рослини були в двох великих насадженнях на ділянках № 7 і № 8 на схилах південно-східної експозиції. Однак, дерева цих двох насаджень істотно поступалися за діаметром стовбура і крони деревам інших насаджень на відвалі. Найгіршими для зростання *P. pallasiana* на відвалі були дві ділянки – № 2 і № 3 на його плоскій вершині, де рослини мали найменшу висоту. На інших чотирьох ділянках рослини за морфометричними характеристиками помітно не відрізнялися (винятком є діаметр крони у дерев на ділянках № 1 і 6). У рослин на бермах і особливо в дендрарії КБС відзначено більш інтенсивний радіальний приріст, ніж у дерев на схилах відвалу. За цим показником рослини на схилах відвалу поступалися в 1,9–2,4 рази, а на бермах в 1,4–1,7 рази деревам з дендрарію. Хоча і в насадженнях на відвалі зустрічаються окремі рослини, у яких діаметр стовбура на висоті 1,3 м досягав 30 см, а висота – понад 12 м.

За рівнем охвоєності дерева *P. pallasiana* в дендрарії КБС не мали явної переваги над деревами насаджень на відвалі. В усіх досліджених насадженнях ослаблені дерева, з явними ознаками пошкодження хвої і з короткою тривалістю життя, були відсутні. Переважну більшість дерев слід віднести до категорії здорових, а тому в цілому їх насадження за життєвим станом не відрізняються.

Кількість опадів з відмерлих гілок на одиницю площі була найбільшою у здорових дерев дендрарію КБС, досягаючи 1,1 кг на 5 м². В насадженнях на відвалі некромаса опадів істотно варіювала від 0,045 до 0,857 кг/5 м², причому на одних і тих самих бермах насадження відрізнялися за кількістю опадів в 2,4–9,0 разів. Насадження відрізнялись і за кількістю опадів свіжої хвої в

окремих випадках в 2 рази. Значна кількість опадів хвої зосереджена навіть на крутих схилах (рис. 3.2). Тільки одне насадження на відвалі (№ 2) перевищувало за некромасою верхнього шару хвої в опаді насадження дендрарію, маючи, відповідно, 251,3 та 202,7 г на 0,25 м². Другий шар опадів хвої, який починає перегнивати і більш складно відділятися, у двох насадженнях (№ 1 і № 3) на відвалі кількісно можна порівняти з насадженням *P. pallasiana* в дендрарії КБС. В інших шести насадженнях на відвалі некромаса цього шару хвої була помітно меншою.



Рис. 3.2. Опад хвої в насадженнях *Pinus pallasiana* на схилі Першотравневого відвалу

Особливістю підстилки всіх насаджень на відвалі є наявність третього щільного шару перегнилої хвої з формуванням детриту [96]. Цього шару немає в опаді хвої рослин дендрарію КБС. Причиною цього можуть бути істотні відмінності в підстилаючому шарі субстрату: в дендрарії КБС – це чорнозем, а на бермах відвалів – уламки скельних порід, змішані з дрібноземом. Такий субстрат відрізняється кращою аерацією, ніж чорнозем. Крім того, ймовірно, порода відвалу сприяє більшому накопиченню в

підстилці конденсованої вологи в теплу пору року, що утворюється за рахунок перепаду денних і нічних температур [175]. Слід зазначити також, що структура наземного мезофауністичного комплексу, який відіграє провідну роль у деградації мертвих рослинних залишків, на відвалах є спрощеною, а чисельність його представників менша, ніж у насадженні сосни кримської на території КБС [166].

Загальна кількість некромаси в підстилці кожного насадження залежала від його площі і від репродуктивної активності рослин. У розрахунку на 1 га загальна некромаса в восьми насадженнях варіювала від 22,183 (№ 6) до 37,228 т і склала в середньому 30 т. Фактично в підстилці восьми 30-річних насаджень *P. pallasiana* на відвалі накопичилося 102,759 т некромаси (очевидно, загальна кількість її є більшою, оскільки нами не враховувався третій перегниваючий шар хвої в опаді). У насадженні дендрарію загальна некромаса склала 0,813 т, а в розрахунку на 1 га – 32,536 т.

Частка опадів гілок, яка в насадженнях на відвалі варіювала від 0,33 до 6,4%, склавши в середньому 3,1%, була найменшою. Опад хвої змінювався в цих насадженнях в межах 24,9–59,1 %, в середньому – 44,3 %. Ці показники для опадів шишок були такими: 38,4–68,7 % і 52,6 %. У насадженні дендрарію розподіл некромаси був наступним: опад гілок – 7,5 %, опад хвої – 32,3 %. Отже, *P. pallasiana* на залізрудному відвалі Криворіжжя формує значний запас органічної речовини і тим самим істотно поліпшує еколого-едафічні умови для поселення рослин в цих гетерогенних техногенних екотопах.

3.2. Сосна звичайна в насадженнях відвалів Криворіжжя

На Автовідвалі Першотравневого кар'єру збереглася більшість висаджених сіянців *P. sylvestris*, які були завезені в кінці 80–90-х рр. минулого століття з розсадників Дніпропетровської області (рис. 3.3). При застосованій схемі посадки 2,5 м між рядами і 1,5 м в рядку висаджувалось до 30 сіянців на 100 м². Через 30 років на різних за географічним і висотним положенням ділянках Автовідвалу збереглося від 13 до 22 рослин сосни на

100 м², що становить 43,3–73,3 % від перших висаджених сіянців. Площа насаджень невелика – від 350 до 1200 м², а вік рослин коливається від 17 до 22 років.



Рис 3.3. Насадження і природне відновлення *Pinus sylvestris* L. на Автовідвалі Першотравневого кар'єру Північного ГЗК

У цьому віці рослини досягають висоти в 6,2–6,9 м з діаметром стовбура на висоті 130 см 11,8–18,8 см. Рослини характеризуються розвиненою кроною з діаметром 3,7–4 м, добрим охоєнням і високим життєвим станом. Під пологом рослин у насадженнях відмічено виживання окремих особин самосіву. Основна маса самосіву локалізована навколо насаджень на відкритих ділянках.

Деревостани *P. sylvestris* на бермах Петрівського відвалу (діл. № 4–6) виникли внаслідок заносу насіння зі штучних соснових насаджень, розташованих біля основи цього відвалу (діл. № 7–8). 14–16-річні рослини, які досягли репродуктивної стадії розвитку на відвалі, розміщені мозаїчно, формуючи як щільні, так і розріджені куртини з максимальною площею до 1 га (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Морфометричні характеристики, життєвий стан *рослин P. sylvestris* в насадженнях на залізорудних відвалах та в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України

Облікова ділянка, №	Місце розташування насадження	Площа насадження, м ²	Загальна кількість рослин на 100 м ² / з них насінноносних	Вік рослин, років	Висота дерев, м	Діаметр стовбура, см	Проекція крони, м	Охвоєність крони, бал	Життєвий стан рослин, бал	Наявність самосіву під пологом рослин / їх вік
Автовідвал (кварцит)										
1	Західний схил	850	13/13	17	6,4±0,3	18,8±0,7	4,0±0,2	4,6±0,1	3	поодин./ 2-7 років
2	Південно-східний схил	1200	22/22	22	6,9±0,3	14,5±0,8	3,9±0,1	4,6±0,1	3	поодин./ 2-5 років
3	Вершина відвалу, плато	350	15/15	22	6,2±0,3	11,8±0,6	3,7±0,2	4,5±0,1	3	поодин./ 1-3 років
Петрівський відвал (супісок)										
4	Друга берма, східний бік	5000	20/20	16	6,6±0,3	13,4±0,7	3,4±0,2	4,3±0,1	3	поодин./ 2-4
5	Друга берма, східний бік	300	15/15	15	6,7±0,3	10,4±0,6	3,6±0,2	4,6±0,1	3	поодин./ 2-7
6	Друга берма, східний бік	300	19/19	14	6,0±0,4	11,2±1,2	3,6±0,2	5,0±0	3	поодин./ 3-6
Петрівський відвал, насадження біля основи (суглинок)										
7	Основа відвалу, східний бік	10000	13/13	30	15,8±0,6	24,1±2,0	3,7±0,2	4,5±0,1	3	відсутній
8	Основа відвалу, південно-східний бік	10000	13/13	30	16,5±1,0	20,4±1,3	3,5±0,2	4,0±0,2	3	відсутній
Криворізький ботанічний сад НАН України (чорнозем)										
9	Дендрарій	450	10/10	25	9,3±0,3	20,1±0,9	4,7±0,2	4,2±0,1	3	відсутній

За морфометричними характеристиками рослини на Петрівському відвалі, які розвиваються на супісках, мало відрізняються від близьких за віком рослин Автовідвалу, де переважаюча порода – кварцит. У рослин, які ростуть на глинах та суглинках біля основи Петрівського відвалу, не відмічено будь-яких ознак пригнічення в зростанні і розвитку. За своїми морфометричними характеристиками вони не поступаються, а за показником висоти навіть перевершують близькі за віком рослини з дендрарію ботанічного саду.

Судячи з величини середнього діаметру стовбура, найкращий радіальний приріст рослин в умовах відвалів спостерігається на західному схилі Автовідвалу. В усіх досліджених насадженнях відзначено відсутність ослаблених дерев з явними ознаками пошкодження хвої і скороченою тривалістю життя, навіть незважаючи на несприятливі умови літа 2010 р. з рекордно високими температурами ($32\text{--}38^{\circ}\text{C}$), що тривали більше двох місяців. Переважна більшість рослин *P. sylvestris* успішно перенесла спекотне, посушливе літо 2010 р., що свідчить про високий адаптивний потенціал цього виду, який реалізується в жорстких умовах залізорудних відвалів Криворіжжя. Внаслідок високої життестійкості *P. sylvestris*, її насадження мало відрізнялися за життєвим станом від здорового насадження в дендрарії ботанічного саду.

Таким чином, можна констатувати, що 30-річні насадження *P. sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя, відповідно до класифікації життєвого стану лісосмугових насаджень степу [36], знаходяться в другому періоді розвитку, а їх наслідневе потомство – в першому періоді розвитку, або в окремих випадках – на початку другого періоду. У кронах рослин в насадженнях не виявлено сухих гілок, як і суховершинності рослин. Очевидно, що 30-річні рослини *P. sylvestris* в насадженнях на залізорудних відвалах можуть перебувати в нормальному життєвому стані ще кілька десятків років, перш ніж перейдуть у субсенільну стадію. Це говорить про те, що дані види можна вважати дуже перспективними для озеленення

залізорудних відвалів Криворіжжя. Принаймні, висаджені на відвалах одночасно з цими двома видами сосен рослини, здавалося б, дуже перспективного *Elaeagnus angustifolia*, у багатьох насадженнях є субсенільними, а нерідко і закінчили свій життєвий цикл.

Надмірного передчасного опадку хвої через її можливе фізіологічне висушення у рослин *P. sylvestris* на залізорудних відвалах в період з 2005 по 2010 рік не спостерігалось. Цього не зазначено навіть у період аномально спекотного літа 2010 р.

У насадженнях *P. sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя формується стійка підстилка навіть на схилах. Незначний опад сухих гілок відзначений в молодому насадженні на Автовідвалі. У самосівних деревостанах *P. sylvestris* на Петрівському відвалі опад відмерлих гілок практично відсутній. Найбільш значним опад був в 30-річних насадженнях біля основи Петрівського відвалу та в розрахунку на 1 га склав 2,23–2,56 т. Маса опадку хвої в досліджуваних насадженнях також була різною. Особливо це помітно виявлялося в самосівних деревостанах *P. sylvestris* на Петрівському відвалі, де загальна маса відмерлої хвої в розрахунку на 1 га варіювала від 3,89 до 8,30 т. Найбільша маса опадку хвої встановлена для насадження *P. sylvestris* в дендрарії – 12,19 т/га. Близькою була маса хвої в опаді соснового насадження на вершині Автовідвалу – 11,06 т/га. На 19,1–23,7 % меншою була маса опадку хвої в насадженні біля основи Петрівського відвалу в порівнянні з близькими за віком контрольними рослинами дендрарію. Найбільш значний за масою опад шишок встановлено, як і слід було очікувати, у найвроджайніших насадженнях на плато і південно-східному схилі Автовідвалу. Незважаючи на те, що маса десяти шишок в опаді рослин дендрарію була в 2,6–3,1 рази вище, ніж у двох зазначених насадженнях, розрахункова маса шишок в опаді двох схилових деревостанів на Автовідвалі була в 1,6 рази більше, ніж у дендрарії (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Некромаса відпаду відмерлих гілок і опадів хвої і шишок в насадженнях *P. sylvestris* на залізородних відвалах і в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України

№ облікової ділянки	Місце розташування насадження	Відпад відмерлих гілок, г на 4 м ²	Суха маса опадів			Некромаса в насадженні на 1 га, кг		
			хвої в свіжому верхньому і нижньому шарі підстилки, г на 0,25 м ²		шишок минулорічного врожаю, г на 10 шишок	відпад гілок	опад хвої	опад шишок
			свіжий верхній	перегниваючий нижній				
Автовідвал (кварцит)								
1	Західний схил	33	195,3±19,6	0	48,8±8,3	82,5	7812	5647,5
2	Південно-східний схил	11	161,0±40,1	82,0±17,5	57,4±5,9	27,5	9720	9276,5
3	Вершина відвалу, плато	81	161,7±20,6	114,7±7,7	67,7±7,7	202,5	11056	9251,3
Петрівський відвал (супісок)								
4	Друга берма, східний бік	0	60,3±15,8	93,3±6,9	70,8±1,9	0	6144	3197,4
5	Друга берма, східний бік	0	97,3±27,8	110,3±38,2	72,2±5,2	0	8304	2703,2
6	Друга берма, східний бік	0	79,3±6,6	18,0±2,4	52,8±3,3	0	3892	605,9
Петрівський відвал, насадження біля основи (суглинок)								
7	Основа відвалу, східний бік	893	117,8±16,1	114,6±16,0	87,6±2,8	2232,5	9296	2908,5
8	Основа відвалу, південно-східний бік	1024	93,4±2,5	153,0±14,1	79,0±3,0	2560	9856	3378,8
Криворізький ботанічний сад НАН України (чорнозем)								
9	Дендрарій	450	132,7±7,6	172,0±28,1	178,6±9,8	1125	12188	5872,4

Шишки в опаді всіх досліджуваних насаджень повільно руйнуються грибами і бактеріями і слугують суттєвим джерелом поповнення породи відвалів органічними речовинами, які спочатку були відсутні в них. Загальний розрахунковий опад хвої, шишок і опад сухих гілок в трьох насадженнях на Петрівському відвалі досягав 13,5–20,5 т/га, а в самосівних деревостанах на Петрівському відвалі – 4,5–11 т/га. Для порівняння: загальна розрахункова некромаса в дендрарії склала 19,2 т/га. За період п'ятирічних спостережень виявлена невелика кількість загиблих рослин *P. sylvestris*.

Розподіл одно-, дво- і трирічної хвої на молодих рослинах *P. sylvestris* залежить від погодних умов попередніх 2–3 років і поточного року. У сприятливі роки частка однорічної хвої на рослинах може досягати 43–49 %. У посушливі роки співвідношення хвої різного віку зміщується на користь дворічної і навіть трирічної хвої, а частка однорічної хвої знижується до 25 % від її загальної маси. При цьому несприятливі погодні умови впливають на утворення хвої не тільки поточного року, а й наступного року. Тривалість життя хвої варіює залежно від лісорослинних умов, природно-кліматичних і ґрунтових факторів, від віку насаджень, розташування її в кроні і густоти насаджень

3.3. Відмінності в морфології кореневої системи *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* на залізорудних відвалах і в природних умовах

Незважаючи на багаторічну практику рекультивації залізорудних відвалів та інших породних відвалів у Придніпров'ї, дослідження щодо розвитку фенетичної організації корневих систем деревних рослин у техногенних екотопах практично не проводилися. Одним із основних показників адаптивності деревних рослин до нових екстремальних умов промислових відвалів є ріст і розвиток їх кореневої системи. Розвиток потужної кореневої системи рослин в субстратах промислових відвалів – одна з головних умов їх адаптації до цих неоекотопів [68, 93].

У природних непорушених екотопах *P. sylvestris* відрізняється великою пластичністю кореневої системи, що розвивається відповідно до характеру і

структури ґрунту [39, 81, 195, 200]. На глибоких свіжих пухких ґрунтах *P. sylvestris* формує стрижневий корінь, що досягає глибини 1–6 м і більше. Від стрижневого кореня відходять бічні, що дозволяє рослині використовувати як вологу глибинних горизонтів ґрунту, так і вологу невеликих дощів, що локалізуються у верхньому горизонті. Бічні корені залягають в таких ґрунтах на глибині до 25 см, поширюючись горизонтально далеко за межі проекції крони. Загальна довжина бічних, що йдуть поблизу поверхні ґрунту, коренів перевищує в 10–15 разів радіус крони. Крім того, для підвищення вбирної здатності коренів на їх поверхні формується мікориза, що обплітає короткі корінці. На суглинних ґрунтах корені *P. sylvestris* зазвичай рідко виходять за межі проекції крони рослини [39, 81]. У природних екотопах стрижневий корінь у *P. sylvestris* росте в глибину до 40 років і лише потім розвивається бічна коренева система [195]. При недостатньому водопостачанні, на сухих бідних піщаних ґрунтах з глибоким заляганням ґрунтових вод у рослин *P. sylvestris* спостерігається слабкий розвиток стрижневого кореня і формується добре розвинена поверхнева коренева система. Такий тип кореневої системи дозволяє рослинам краще поглинати атмосферну вологу.

Однорічні рослини *P. sylvestris* на чорноземах, добре дренованих, глибоких піщаних, супіщаних і суглинних ґрунтах розвивають стрижневий корінь, який в 3–4 рази перевищує довжину їх стебельця. Основна маса коренів на родючих ґрунтах у *P. sylvestris* приурочена до певного генетичного горизонту, як правило, перегнійно-аккумулятивного [39, 195].

Відзначено, що самосівні рослини *P. sylvestris* на відвалах вугільних розрізів Кузбасу в умовах пухких щебенево-глинистих субстратах формують потужну кореневу систему поверхнево-стрижнево-якірного типу. Стрижневий корінь чітко виражений, з глибиною проникнення до 164–182 см, великою збіжистістю, редькоподібної форми. Якірні корені (діаметром до 4 мм) менш виражені. Поверхневі корені розташовані переважно в горизонті 15–35 см та їх кількість дорівнює 5–9 у одного молодого дерева. Ці

поверхневі горизонтальні корені у рослин на схилах відвалу рівномірно орієнтовані в просторі, тобто ростуть з однаковою насиченістю вгору і вниз. Загальна протяжність поверхневих горизонтальних коренів приблизно вдвічі перевищує довжину вертикальних коренів. Питома вага коренів в загальній масі молодих рослин становить 30%. Найбільша корененасиченість відзначена в горизонті 10–20 см глинисто-щебенистих ґрунтів відвалу [136].

Отже, формування кореневої системи *P. sylvestris* та її морфометричні особливості залежать від типу ґрунтів, їх родючості, фізико-хімічного складу, зволоженості, глибини залягання ґрунтових вод і ряду інших факторів [39, 81, 195].

В умовах промислових відвалів Кривбасу розвиток кореневої системи деревних рослин протікає по-різному. Найчастіше формується поверхнева коренева система не глибше 20–30 см, особливо на ділянках відвалах, складених із фітотоксичних порід (переважно талькових сланців).

Наші розкопки одно-трирічних сіянців на суглинних і супіщаних ділянках Петрівського відвалу показали, що у молодих рослин розвивається стрижнева коренева система (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Кореневі системи 1–3-річного самосіву *Pinus sylvestris* на Петрівському відвалі

Довжина поверхневих бічних коренів у 5-річних сіянців *P. sylvestris* досягає декількох метрів, а стрижневий корінь, як правило, деформований і не заглиблюється за межі 20–30 см шару (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Коренева система 5-річного самосіву *Pinus sylvestris* на Петрівському відвалі

У семирічної сосни звичайної, яка зростає на ущільненому кварциті Автовідвалу, слабо розвинений стрижневий корінь (рис. 3.6). Невиразність стрижневого кореня спостерігають у рослин, що ростуть на сухих бідних піщаних ґрунтах, з глибоким заляганням ґрунтових вод, а також на болотистих і торф'яних ґрунтах [81]. На ущільнених кварцитах залізорудного відвалу *P. sylvestris* розвиває поверхневу кореневу систему в шарі породи 20–25 см. У молодій рослини, за класифікацією Б.В. Гроздова [39], розвиваються довгі стрічкоподібні горизонтальні корені, які виходять за межі проекції крони. Очевидно, в цьому проявляється як пластичність, так і адаптивна стратегія виду, спрямована на краще використання атмосферної вологи, що конденсується в поверхневому шарі породи через перепади температури в денний і нічний час доби. З іншого боку, такий тип кореневої системи

забезпечує рослинам стійке положення на породі відвалів, перешкоджаючи можливому поваленню вітром.

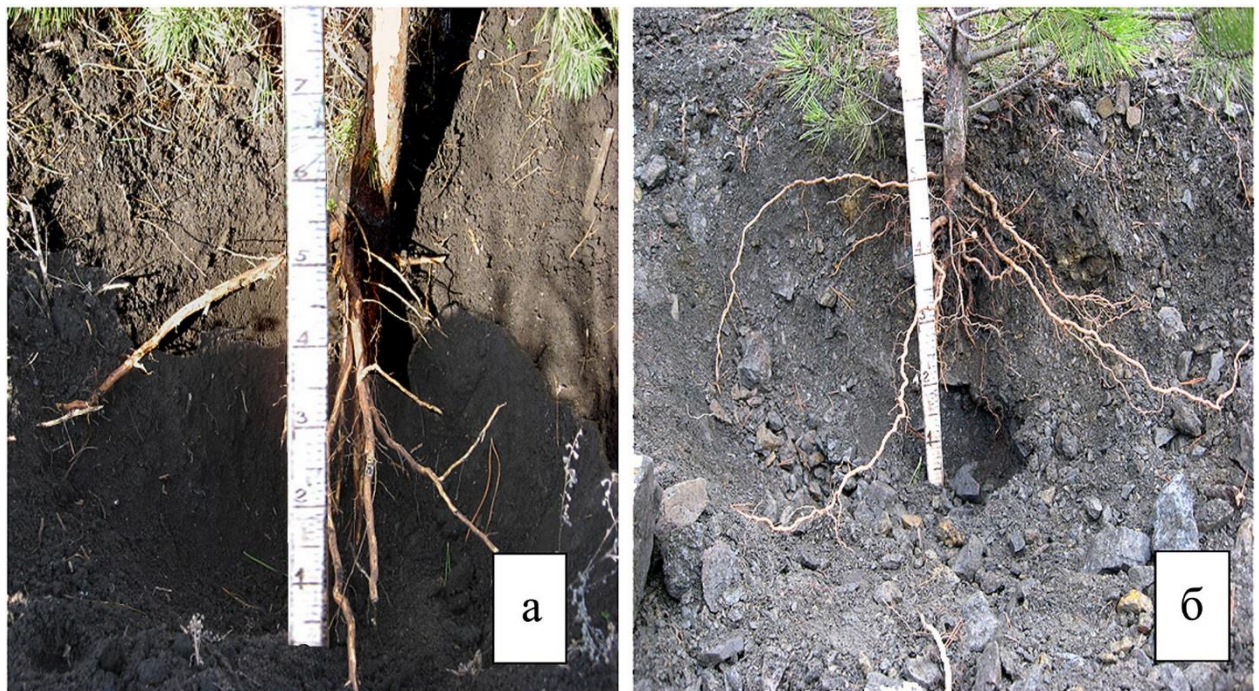


Рис. 3.6. Коренева система 7-річних рослин *Pinus sylvestris*: а – на чорноземі; б – на відсипці кварциту Автовідвалу

За нашими спостереженнями, в умовах залізорудних відвалів *P. sylvestris* реалізує життєву стратегію, характерну для сухих бідних піщаних ґрунтів з глибоким заляганням ґрунтових вод.

Pinus pallasiana, як і *P. sylvestris*, відрізняється посухостійкістю і жаростійкістю, не вимоглива до ґрунту. Кращими субстратами для *P. pallasiana* є супіски і суглинки, що природно залягають під вапняками. На таких ґрунтах з такими підстилаючими породами в Криму вона досягає висоти 45 м і має діаметр стовбура більше 0,5 м. Може зростати на майже оголених вапняних і сланцевих відслоненнях. Коренева система у *P. pallasiana* пластична і нерідко поверхнева. На свіжих глибоких ґрунтах розвиває стрижневу кореневу систему, а на оголених вапняках і сланцях – поверхневу. Розкопки молодих рослин *P. pallasiana* на ущільнених гравійних суглинках плато Нікіта в Гірському Криму показали, що в цих умовах формується слабо розвинений стрижневий корінь і поверхневі корені, тоді

як на Першотравневому відвалі бічні поверхневі корені досягають значної довжини (рис. 3.7).

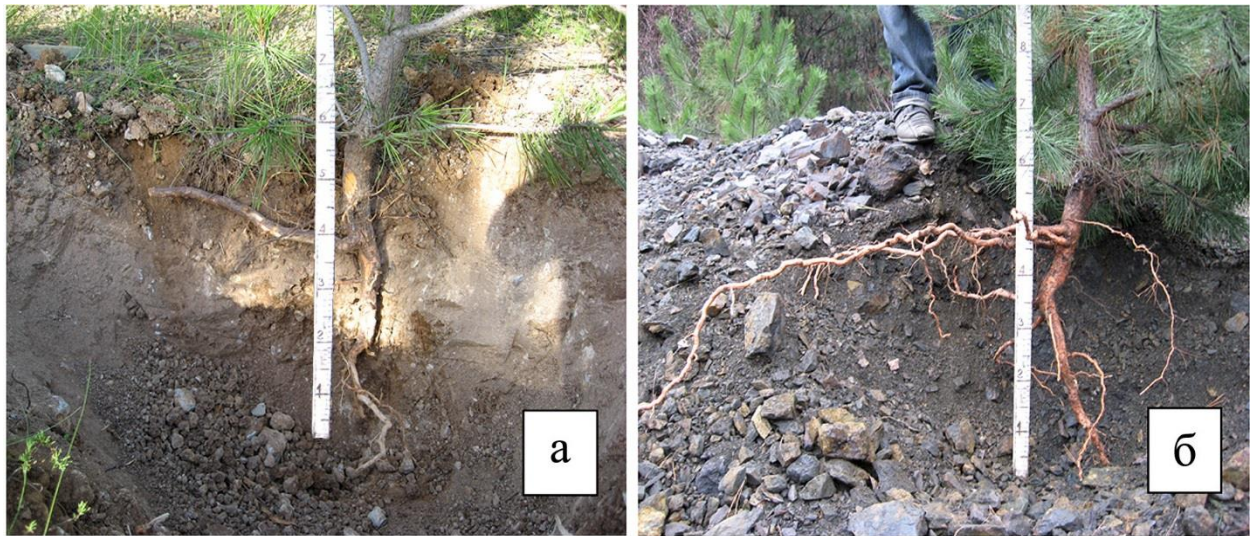


Рис. 3.7. Коренева система 7-річного самосіву *Pinus pallasiana*: а – суглинках плато Нікіта в Гірському Криму; б – на відсипці кварциту Першотравневого відвалу

Такі дослідження мають певний біологічний сенс щодо з'ясування організації біоморф у різних видів в умовах, які не характерні для їх існування. У ґрунті апекс кореня переміщується крізь щільне середовище, а в умовах відвалу – через пухку породу. Здавалося б, полегшеність переміщення коренів рослин в пухкій породі відвалів повинна повною мірою сприяти їх позитивному геотропізму. Однак це широко розповсюджене явище в природному середовищі існування деревних рослин зустрічається тільки у окремих видів в умовах відвалів.

Очевидно, що в цьому проявляється адаптивна стратегія виду щодо захоплення простору в техногенних неоекотопах. Формування просторово розсіяної поверхневої кореневої системи, очевидно, пов'язане з більш високою активністю процесів фізико-хімічного вивітрювання верхнього шару породи і, таким чином, перетворенням мінеральних речовин в доступні форми для поглинання коренями. Крім того, в поверхневому шарі накопичуються органічні і мінеральні речовини, що заносяться вітром з пилом з інших територій, а також конденсується атмосферна волога в нічні

години через добові перепади температури. З іншого боку, поверхнєве розташування коренів в поєднанні з природними фізико-хімічними процесами вивітрювання породи сприяє розвитку кругообігу життєво необхідних для рослин ресурсів і підвищує доступність таких едафотопів для поселення піонерних видів трав'янистих і деревних рослин [187].

Формування поверхневої кореневої системи в умовах відвалів у видів, що, як правило, не утворюють її в оптимальних едафічних умовах – свідчення широти їх норми реакції. Ця прихована норма успішно реалізується саме в екстремальних умовах відвалів [197].

Висновки по розділу

1. Аналіз морфометричних характеристик рослин дозволив встановити, що найкращими едафічними умовами для зростання для *Pinus pallasiana* на Криворіжжі є чорноземи звичайні (дендрарій КБС НАН України). За інтенсивністю радіального приросту рослини на схилах залізорудного відвалу поступалися в 1,9–2,4 рази, а на бермах в 1,4–1,7 рази деревам із дендрарію.
2. Особливістю підстилки всіх насаджень *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі є наявність третього щільного шару перегнилої хвої з формуванням детриту, який відсутній у насадженні дендрарію КБС. У розрахунку на 1 га загальна некромаса в восьми насадженнях відвалу варіювала від 22,183 до 37,228 т і склала в середньому 30 т. У насадженні дендрарію загальна некромаса склала 0,813 т, а в розрахунку на 1 га – 32,536 т.
3. Рослини *Pinus sylvestris* на Петрівському відвалі, які розвиваються на супісках, мало відрізняються за морфометричними показниками від близьких за віком рослин Автовідвалу, висаджених на відсипці кварциту. За морфометричними характеристиками особини на відвалах не поступаються, а за показником висоти навіть перевершують близькі за віком рослини з дендрарію ботанічного саду.

4. У насадженнях *P. sylvestris* на залізорудних відвалах стійка підстилка формується навіть на схилах, проте запаси опаду хвої тут поступаються тим, що встановлені для насадження *P. sylvestris* в дендрарії – 12,19 т/га. Найбільші величини опаду зафіксовані в 30-річних насадженнях біля основи Петрівського відвалу, що в розрахунку на 1 га складає 2,23–2,56 т. У самосівних деревостанах *P. sylvestris* на супісках Петрівського відвалу загальна маса відмерлої хвої в розрахунку на 1 га варіювала від 3,89 до 8,30 т.
5. Специфіка розвитку підземної сфери рослин *Pinus pallasiana* та *P. sylvestris* на залізорудних відвалах полягає у формуванні поверхневих кореневих систем у 20–30-сантиметровому шарі субстрату. Довжина поверхневих бічних коренів у 5-річних сіянців *P. sylvestris* досягає декількох метрів, а стрижневий корінь, як правило, деформований. У молодих рослин *P. pallasiana* на суглинках у Гірському Криму спостерігається порівняно слабкий розвиток як стрижневого кореня, так і поверхневих, тоді як на Першотравневому відвалі бічні поверхневі корені досягають значної довжини. Очевидно, що в цьому проявляється адаптивна стратегія видів сосен щодо захоплення простору в техногенних неоекотопах.

РОЗДІЛ 4

РЕПРОДУКТИВНА АКТИВНІСТЬ ДВОХ ВИДІВ СОСЕН НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ ТА СПАДКОВЕ РІЗНОМАНІТТЯ ЇХ ЛОКАЛЬНИХ ПОПУЛЯЦІЙ

Життєздатність виду в умовах відвалу визначає його відновний потенціал, який дозволяє спрогнозувати можливі сценарії розвитку деревостану. При дії граничних значень кліматичних факторів можуть порушуватися процеси генеративного розвитку рослин: закладається менше генеративних зачатків або вони взагалі відсутні, знижується життєздатність пилку і, незважаючи на рясне цвітіння, зменшується частка повнозернистого насіння або насіннєношення взагалі відсутнє [177].

Генеративне розмноження у хвойних реалізується за рахунок розвитку ембріональних структур, формування яких обумовлене генетичними і фізіолого-біохімічними особливостями материнського індивіда і багато в чому залежить від дії факторів зовнішнього середовища [79, 118, 131]. В індустріальних регіонах на репродуктивний процес деревних рослин негативний прямий або опосередкований вплив надають емісії промислових підприємств. Генеративні структури хвойних чутливі до аеротехногенного забруднення, оскільки їх розвиток багатоступінчастий і розтягнутий у часі – це збільшує ймовірність прямого впливу на них полютантів [155, 170, 172, 212–213, 218, 225]. Ослаблення життєвого потенціалу рослин в умовах забрудненого середовища, особливо істотне зниження життєздатності найменш стійких дерев, як правило, негативно позначається як на репродуктивній функції цих дерев, так і в цілому на насадженні або локально пошкодженій ділянці популяції [26, 58, 84, 170, 198, 223].

Деревні рослини, які ростуть на залізорудних відвалах Криворіжжя, відчувають комплексний вплив негативних чинників: несприятливий вплив природно-кліматичних факторів степової зони, на який накладаються

екстремальні умови відвалів, загальний фон забрудненої атмосфери, а нерідко і викиди гірничо-збагачувальних комбінатів та інших великих підприємств.

Статева репродуктивна функція деревних рослин і, зокрема, *P. sylvestris* і *P. pallasiana* досить детально досліджена в умовах природного ареалу [78, 130, 143–144]. Подібних досліджень в насадженнях хвойних степової зони України вкрай мало, особливо відносно деревостанів, які ростуть в техногенно забруднених умовах і, особливо, на порушених територіях [15, 57, 91, 109].

4.1 Насіннюшення сосни кримської в насадженнях на відвалі

Рослини природних популяцій при порівняльних дослідженнях інтродукційних насаджених виступають як своєрідний еталон. Відштовхуючись від нього, можна з'ясувати, як умови нового ареалу позначаються на ростових і репродуктивних показниках досліджуваного виду [120]. З цією метою були проведені детальні дослідження мінливості репродуктивних показників у природних популяціях *P. pallasiana* в Гірському Криму. Так, середня довжина шишок (в аналізі використано 2355 шт) в цих деревостанах змінювалася в межах 56,6–72,4 мм, а товщина – 29,3–34,5 мм. Загальна кількість лусочок в жіночій шишці в деревостанах Гірського Криму становила 90,8–106,9 шт. Продуктивних лусочок було значно менше: в середньому 33,8–42,1 шт на одну шишку. Кількість повнозернистого насіння в розрахунку на одну середню шишку в восьми досліджуваних деревостанах Криму варіювало від 36,1 шт до 57,8 шт в різні роки. Помітно змінювалося також середня кількість порожнього і недорозвиненого насіння: 2,4–19,4 шт і 3,5–8,8 шт відповідно. Фактична насіннева продуктивність в розрахунку на одну шишку в досліджуваних деревостанах *P. pallasiana* в Криму була на 15,2–57,2% нижче від потенційно можливої.

Окрім того, задля порівняння шкідливості впливу аеротехногенних забруднень та техногенних едафотопів на репродуктивну сферу *P. pallasiana* нами були використані результати досліджень репродуктивних показників у молодих (до 30 років) рослин у п'яти насадженнях Кривого Рогу, які ростуть у рекреаційній зоні, на залізорудному відвалі і поблизу металургійних та гірничо-збагачувальних комбінатів [94].

Середня довжина шишок (при аналізі використано 1958 шт) змінювалася в межах 62,2–76,6 мм, а товщина – 30,9–37,8 мм. Кількість продуктивних лусочок в середньому в шишці була 32,7–41,7 шт, що дуже близько до меж варіювання цього показника в шишках *P. pallasiana* Гірського Криму. Хоча середня кількість повнозернистого насіння в шишках рослин насаджень м. Кривий Ріг була меншою – 15,9–60,6 шт, найвищі показники продуктивності повноцінного насіння за три роки досліджень встановлено в насадженнях рекреаційної зони – 43,1–60,6 шт., а на відвалі – 42,0–44,3 шт. У рослин, які піддавалися шкідливим впливам викидів металургійного та гірничо-збагачувального комбінатів, повноцінного насіння було істотно менше – 19,3–30,5 шт і 19,0–33,8 шт відповідно. У шишках рослин цих насаджень значно зростала середня кількість порожніх насінин – 16,0–22,4 шт і 11,9–27,5 шт. У рослин рекреаційної зони такого неповноцінного насіння було 6,3–11,1 шт [94]. Дещо більше їх було в шишках рослин, які ростуть на відвалі – 4,9–14,3 шт.

Результати цих порівняльних досліджень з усією очевидністю показують, що на показники статевої репродукції *P. pallasiana* значно більше впливають викиди великих металургійних підприємств Криворіжжя, ніж комплекс несприятливих умов залізорудного відвалу. Крім того, в умовах рекреаційної зони м. Кривий Ріг репродуктивні потенції *P. pallasiana* досягають рівня, характерного для цього виду в його природному ареалі в Гірському Криму.

Дослідження насінневої продуктивності *P. pallasiana* в деревостанах на Першотравневому відвалі були проведені в 2009 р. У насадженнях на бермах

Першотравневого відвалу *P. pallasiana* відрізняється більшою врожайністю шишок, ніж у насадженнях на його схилах (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Характеристика репродуктивної активності дерев у штучних насадженнях *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі та в дендрарії Криворізького ботанічного саду

№ облікової ділянки	Місце розташування насадження	Кількість шишок в опаді під деревами, шт		Співвідношення дерев з різною репродуктивною активністю в насадженні, %				
		максимальна	мінімальна	висока	вище середньої	середня	низька	без шишок
1	Третя берма, вершина відвалу 42 м, кварцит	1104	224	35	18	12	-	35
2	Третя берма, вирівняне плато, кварцит	607	265	36	12	48	4	-
3	Третя берма, горбисто-западинний мікрорельєф, кварцит	962	222	29	29	35	-	7
4	Друга берма, висота 30 м, кварцит	471	294	40	40	20	-	-
5	Друга берма, кварцит	1503	212	39	44	17	-	-
6	Друга берма, біля підніжжя схилу, кварцит	664	257	15	55	15	15	-
7	Південно-східний схил другої берми, кварцит	337	120	-	-	44	56	-
8	Південно-східний схил другої берми, кварцит	427	101	-	-	48	52	-
9	Дендрарій Криворізького ботанічного саду, чорнозем	710	143	36	57	7	-	-

У дерев на бермах максимальна і мінімальна кількість шишок в багаторічному їх опаді були більшими, ніж на схилах, відповідно 471–1503 шт і 212–294 шт; 337–427 шт і 101–120 шт (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Опад шишок біля підніжжя схилу з 35-річним насадженням *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі

В окремих насадженнях на відвалі (№ 5) сумарний урожай шишок за весь період репродукції (1503–212 шт.) був навіть вище, ніж у дерев КБС (710–143 шт.). За співвідношенням дерев з різною репродуктивною активністю насадження облікових ділянок №№ 2–5 на бермах не поступалися насадженню дендрарію.

Ще в двох насадженнях на бермах переважали дерева з високою та середньою репродуктивною активністю. У двох насадженнях на схилах відвалу домінували дерева з середньою (44–48 %) і низькою (52–56 %) врожайністю шишок. За загальною кількістю лусочок в шишках опаді минулорічного врожаю рослини всіх восьми насаджень на відвалі не поступалися деревам з дендрарію, а двох (№№ 1, 2) – явно перевершували їх. Кількість продуктивних лусочок у фертильному ярусі шишки у дерев на відвалі була більшою в усіх насадженнях на 4,4–37,1 %, ніж в шишках дерев дендрарію. За потенційною насінневою продуктивністю, розрахованою на

одну шишку, дерева насаджень відвалу на 3,4–37,4 % переважали дерева з дендрарію. Фактична насіннева продуктивність нормального за розмірами насіння, яка визначалася за кількістю вм'ятин у продуктивних лусочках шишок, у дерев на відвалі приблизно дорівнювала тій, що відзначалася у дерев з дендрарію або була істотно вищою на 34,0–46,2 % (насадження № 4 і № 1). У шишках дерев п'яти насаджень на відвалі частка насіння від потенційно можливої їх кількості на 2,6–12,2 % була меншою, ніж у шишках дерев дендрарію. Отже, 30-річні дерева в насадженнях *P. pallasiana* на відвалі не поступаються репродуктивній активності дерев дендрарію КБС. Оскільки навколо всіх первинних насаджень *P. pallasiana* на відвалі йде активний процес насіннєвого відновлення, можна констатувати, що в умовах відвалів *P. pallasiana* формує повноцінне насіння високої якості.

В усіх восьми насадженнях *P. pallasiana* на відвалі маса сухих опалих шишок минулорічного врожаю була більшою, ніж у дерев дендрарію, відповідно, 217,8–271,6 і 178,6 г/ 10 шишок. Це свідчить про те, що у дерев на відвалі шишки більшого розміру, ніж у дендрарії.

Визначено, що за величиною усі досліджувані показники статевої репродукції у зрілих дерев були вище, ніж у молодих рослин самосіву. Так, наприклад, кількість фертильних сім'ябруньок в середньому в шишці була більша на 12,4%: повнозернистого насіння – на 48,3 %, порожнього – на 38,5 % і недорозвиненого – на 26,5 % (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Мінливість показників статевої репродукції різних за віком деревостанів *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі.

Тип деревостану (вік)	Кількість дерев, шт	Кількість фертильних сім'ябруньок, шт	Кількість насінин в одній шишці, шт M±m/CV, %		
			повно- зернистих	пустих	недороз- винених
Самосів (7–12 років)	25	53,5±0,8 17,2	21,9±0,8 40,4	3,2±0,2 55,0	3,6±0,2 62,2
Насадження (30–35 років)	25	61,1±0,9 26,6	42,4±0,8 33,8	5,2±0,2 67,1	4,9±0,2 63,6

Примітка. M±m – середнє значення ± похибка, CV – коефіцієнт варіації

За кількістю повнозернистих насінин в шишках рослини насадження мало поступалися рівню (42,0–44,3 шт.), виявленому у них ще в середині 90-х років [94]. Отже, протягом 15 років насінненосні рослини *P. pallasiana* були реальним джерелом повноцінного насіння, що розлітається по Першотравневому відвалу. Молоді рослини самосіву поки майже в 2 рази поступаються зрілим віковим рослинам з насаджень *P. pallasiana*. Зате в їх шишках міститься менша кількість неповноцінного – порожнього і недорозвиненого – насіння. Більш низький вміст в шишках молодих рослин насіння всіх трьох категорій, очевидно, пов'язаний з гіршим запиленням їх сім'ябруньок. У молодих рослин запилених сім'ябруньок було виявлено всього 53,6 %, тоді як у більш зрілих рослин частка таких сім'ябруньок в насадженні становила 85,9 %. У щільних 35-річних насадженнях *P. pallasiana* на відвалі багато рослин, тоді як в самосіву, який знаходився на іншій стороні відвалу, таких рослин одиниці. Очевидно, по досягненню 15–20-річного віку самосів *P. pallasiana* на відвалі стане потужним продуцентом насіння для «покриття» нових, ще не зайнятих ділянок його території.

4.2 Насіннєношення сосни звичайної в піонерних насадженнях на відвалі

Молоді рослини *P. sylvestris* в умовах залізорудних відвалів Криворіжжя відрізняються помітно більшою врожайністю шишок в ході онтогенезу, ніж більш зрілі за віком рослини дендрарію ботанічного саду. Так, наприклад, максимальна і мінімальна кількість шишок в опаді 17–22-річних рослин *P. sylvestris* в насадженнях на Першотравневому автовідвалі була відповідно в 2,8–3,3 і 2,7–3,0 рази більше, ніж в опаді 25-річних рослин дендрарію. Підвищеною врожайністю шишок характеризувалися молоді рослини двох насаджень на другій бермі Петрівського відвалу, хоча за цим показником явно поступалися рослинам Автовідвалу (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Характеристика репродуктивної активності *P. sylvestris* в насадженнях на відвалах і в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України

Облік. ділянка, №	Місце розташування насадження	Кількість шишок в опаді під деревами, шт.		Співвідношення дерев з різною репродуктивною активністю в насадженні	Кількість лусочок в шишці, шт.		Потенційна насіннева продуктив- ність в розрахунку на одну шишку, шт.	Кількість вм'ятин (реплік) у продук- тивних лусочках однієї шишки, шт.	Частка насіння від потенцій- но можливої їх кількості, %
		макси- мальна	міні- мальна	висока: вище середнього: середня: низька: без шишок,%	загальна	продуктивних у фертильному шарі			
Автовідвал (кварцит)									
1	Західний схил	1418	395	69:31:0:0:0	58,4±1,7	8,4±0,7	16,9±1,3	11,3±1,0	66,9
2	Південно-східний схил	1215	350	54:46:0:0:0	57,1±1,6	9,9±0,6	19,9±1,1	13,9±1,1	69,8
3	Вершина відвалу	1211	350	60:24:14:0:0	56,8±1,5	9,9±0,7	19,7±1,3	12,6±1,1	64,0
Петрівський відвал (супісок)									
4	Друга берма, східний бік	342	111	35:55:10:0:0	64,5±1,1	10,9±0,5	21,9±1,1	15,0±0,9	68,5
5	Друга берма, східний бік	482	90	47:53:0:0:0	72,4±1,4	12,5±0,9	24,9±1,8	17,4±1,7	70,0
6	Друга берма, східний бік	130	13	32:5:16:26:21	78,3±1,7	11,0±0,8	22,0±1,5	14,3±1,1	65,0
Петрівський відвал, насадження біля основи (суглинок)									
7	Основа відвалу, східний бік	306	181	0:54:23:8:15	59,9±1,5	16,1±0,8	32,2±1,5	23,9±1,3	74,2
8	Основа відвалу, південно-східний бік	451	224	20:40:30:0:10	49,5±1,1	9,7±0,5	19,4±1,0	12,5±0,9	64,4
Криворізький ботанічний сад НАН України (чорнозем)									
9	Дендрарій	435	130	60:40:0:0:0	54,7±1,9	10,6±0,5	21,2±1,1	14,2±0,8	67,0

Порівняльні дослідження врожайності шишок *P. sylvestris* в різних умовах Криворіжжя з усією очевидністю показують, що на цей репродуктивний показник помітно впливають едафічні умови.

Загальна кількість лусочок в одній шишці у рослин на Автовідвалі варіювала в середньому від 56,8 до 58,4 шт., а продуктивних – від 8,4 до 9,9 шт. Частка продуктивних лусочок в шишках рослин на цьому відвалі склала 14,4–17,4 %. У самосівних рослин на бермах Петрівського відвалу загальна кількість лусочок в шишках змінювалася в межах 49,5–59,5 шт., що на 13,6–34,1 % більше, ніж у рослин Автовідвалу. Хоча відносна кількість продуктивних лусочок в шишках рослин на бермах Петрівського відвалу була практично такою самою, що і у рослин Автовідвалу (14–17,2 %). Рослини, що ростуть біля основи Петрівського відвалу, відрізнялися меншою на одну чверть кількістю лусочок в шишках, однак частка продуктивних лусочок у них була вищою (19,6–26,9%), ніж у рослин, які ростуть на бермах. У рослин дендрарію ботанічного саду частка продуктивних лусочок в шишках склала 19,4%. Відносна кількість продуктивних лусочок у шишці може побічно відбивати умови формування та запилення сім'ябруньок.

За кількістю вм'ятин, або реплік в продуктивних лусочках шишки можна говорити про реальну насінневу продуктивність рослин в розрахунку на одну шишку. Підраховуючи кількість реплік, залишених насінням на внутрішній стороні продуктивних лусочок шишок, в їх опаді під кроною дерев *P. sylvestris* можливо визначити фактичну насінневу продуктивність [153]. Але слід зазначити, що нормальні вм'ятини на продуктивних лусочках шишки утворюють як повнозернисте, так і порожнє насіння.

Насіннева продуктивність в розрахунку на одну шишку була найвищою у рослин, які ростуть в одному з насаджень (діл. № 7) біля основи Першотравневого відвалу – 23,9 шт., що склало 74,2 % від потенційно можливої насінневої продуктивності. Найменша насіннева продуктивність була відзначена у рослин, які ростуть на західному схилі Першотравневого відвалу – 11,3 шт. вм'ятин (можливих насінин) на шишку. Треба відзначити,

що за відносною кількістю насіння від потенційно можливої їх кількості шишки рослин відвалів і дендрарію відрізнялися на 2,6–7,2 %. При цьому тільки в трьох насадженнях на відвалах ця частка насіння була меншою, ніж у рослин дендрарію. Ці відносні дані побічно свідчать, що запилені сім'ябруньки рослин *P. sylvestris* як в умовах відвалів, так і в дендрарії формують нормальне за морфометричними характеристиками насіння. Оскільки навколо всіх первинних насаджень *P. sylvestris* на Автовідвалі та Петрівському відвалі щорічно відбувається природне насіннєве відновлення, то можна констатувати, що рослини в умовах техногенних екотопів формують повноцінне життєздатне насіння. Здатність *P. sylvestris*, як і *P. pallasiana* давати життєздатне насіннєве потомство в умовах залізорудних відвалів Криворіжжя дає підставу для перегляду існуючих технологій рекультивації цих відвалів [152].

Рослини, які ростуть в двох насадженнях біля основи Петрівського відвалу, мали близьку і навіть меншу врожайність шишок, ніж контрольні рослини дендрарію. Так, наприклад, середня кількість шишок в опаді п'яти дерев дендрарію склала 435 шт., а в насадженнях біля основи Петрівського відвалу – 306 (діл. № 7) і 451 (діл. № 8).

Більша врожайність шишок у рослин Автовідвалу обумовлена, очевидно, рядом причин, зокрема, відміченою ще О.Л. Бельгардом [13]. Це прискорений онтогенез рослин у жорстких екологічних умовах, включаючи генеративну фазу розвитку. На ущільнених, що пройшли стадію первинного фізико-хімічного вивітрювання, кварцитах Автовідвалу молоді рослини *P. sylvestris* дуже рано вступають до репродуктивної фази.

Насіннєва продуктивність *P. sylvestris*, як і інших хвойних, визначається врожаєм шишок на деревах і кількістю насіння в шишках. При хорошому врожаї шишок насіннєва продуктивність рослин не завжди є високою. Пов'язано це з низьким зав'язуванням насіння і високою часткою неповноцінного (порожнього) і недорозвиненого насіння в шишках.

Молоді рослини самосіву *P. sylvestris* на Петрівському залізорудному відвалі за показниками насінневої продуктивності в 2009 р. перевищували більш зрілі рослини штучного насадження, розташованого поблизу (100–150 м) від цього відвалу (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Мінливість показників статевої репродукції різних за віком деревостанів *Pinus sylvestris* на Петрівському відвалі і прилеглий території

Тип деревостану (вік)	Кількість дерев, шт.	Кількість фертильних сім'ябруньок, шт.	Кількість насінин в одній шишці, шт $M \pm m / CV, \%$		
			повно-зернистих	пустих	недорозвинених
Самосів (10–16 років)	25	$32,2 \pm 0,5$ 27,9	$16,4 \pm 0,4$ 43,0	$5,2 \pm 0,2$ 60,7	$4,1 \pm 0,1$ 63,4
Насадження (25–30 років)	25	$21,1 \pm 0,6$ 48,6	$14,3 \pm 0,5$ 57,7	$1,9 \pm 1,0$ 71,8	$1,9 \pm 0,1$ 74,6

Примітка. $M \pm m$ – середнє значення $\pm$ похибка, CV – коефіцієнт варіації

У шишках самосівних рослин було більше на 52,6 % фертильних сім'ябруньок, на 14,7 % – повнозернистого, на 173,7 % – порожнього і на 115,7 % – недорозвиненого насіння. Запилення сім'ябруньок молодих рослин самосіву становило 79,8 %, а у рослин привідвального насадження – 85,8 %. Отже, можна констатувати, що у самосіві *P. sylvestris* на Петрівському залізорудному відвалі і у дерев привідвального насадження високий рівень запилення і виживання сім'ябруньок. Правда, тільки 63,8 % запилених сім'ябруньок рослин самосіву формують повнозернисте насіння. У більш зрілих рослин привідвального насадження цей показник вище – 79 %. Це свідчення того, що в привідвальному насадженні умови запилення сім'ябруньок кращі, як і сама якість пилку. У цьому насадженні дерева змикаються кронами і ймовірність перехресного запилення значно вище, ніж у дифузно розкиданих молодих рослин самосіву. Ймовірно, у рослин самосіву частка насіння, що утворюють зав'язь за рахунок самозапилення, помітно більша, ніж у привідвальному насадженні.

У насадженнях *P. sylvestris* (як і *P. pallasiana*) більшість рослин однодомні, хоча зустрічаються рослини, що мають тільки жіночі шишки або чоловічі колоски. У стадію плодоношення ці види вступають у віці 6–7 років (рис. 4.2), а регулярне плодоношення починається в 20–30 років.



Рис. 4.2. Ранній початок вступу самосіву *Pinus sylvestris* L. в репродуктивну фазу розвитку на Автовідвалі

Природне відновлення і розселення двох видів роду *Pinus* на залізорудних відвалах Криворіжжя є унікальним явищем, яке можна розглядати як окремий випадок розвитку «острівних» мікропопуляцій видів за межами ареалів за рахунок міграції генів від штучних джерел – насаджень на і поза відвалами.

4.3. Спадкове різноманіття локальних популяцій двох видів сосен на залізорудних відвалах

Підвищення адаптивного потенціалу інтродуцентів можливе за рахунок збільшення генетичної гетерогенності їх насаджень з використанням для цього гетерозигот, у яких в порівнянні з гомозиготами більш ефективні

механізми фізіолого-біохімічної компенсації на вплив екстремальних факторів зовнішнього середовища [2, 4, 65, 116, 160, 171, 232].

У популяціях натуралізованих інтродуцентів, що збільшують свій ареал за рахунок самозахоплення нових територій, швидше за все, можуть відбуватися формоутворюючі зміни. У цих популяціях можливе підвищення концентрації певних морф, невідомі в популяціях природного ареалу виду. У насадженнях інтродуцентів форми відбору можуть змінюватися в залежності від контрастності умов зростання і філогенезу вихідних популяцій. Передбачити спрямованість адаптивних зрушень в інтродукційних насадженнях, що відбуваються під впливом факторів відбору, досить складно. Ці зрушення можуть виявлятися через декілька поколінь інтродуцентів. У натуралізованого виду зміни адаптивного характеру відбуваються як на рівні окремого індивіда – модифікації, так і на популяційному рівні – зміни генотипичної структури внаслідок природного і штучного відборів в ряді поколінь [74, 127, 162, 222].

Порівняльні дослідження інтродукційних і природних насаджень дозволяють сформулювати адекватне уявлення про реальний адаптивний потенціал окремих видів і розробити стратегію їх ефективного використання в нових районах вирощування. Популяційно-генетичний підхід в поєднанні з традиційним груповим методом лісової селекції на етапі вибору насіннєвого або садивного матеріалу – найбільш ефективний шлях підвищення стійкості інтродуцентів на первинному етапі випробування [117, 127, 129].

4.3.1. Порівняльний аналіз алозимної мінливості сосни кримської в популяціях на залізорудному відвалі і на згарищах в Гірському Криму

Дослідження життєздатності виду в природному і інтродукційному ареалах істотно розширюють уявлення про його еколого-еволюційний потенціал. Масові інтродукційні випробування *P. pallasiana* в степовій зоні України і Росії показали, що цей вид має подвійну екоприроду за аналогією з близькоспорідненою *P. sylvestris.*, *P. pallasiana* відрізняється високою

життєстійкістю в різних екотопах, включаючи техногенні, в умовах степової зони з її різко континентальним кліматом та проявляє себе як петро-псамофіт [90]. При цьому, в штучних насадженнях природне відновлення *P. pallasiana* на чорноземах степової зони практично відсутнє [27].

Як виражений пірофіт *P. pallasiana* реалізує себе в природному ареалі Гірського Криму, інтенсивно відновлюючись на згарищах, що виникають в результаті локальних періодичних пожеж в природних популяціях. У цих популяціях також відбувається відновлення в окремі роки (до 50 ювенільних рослин на 1 м²), проте насіннєве потомство під пологом рослин гине вже в перший рік через світловий «голод». Відновлення на згарищах і особливо колонізація нових, повністю антропогенно трансформованих екотопів в інтродукційному ареалі повинні перш за все відбиватися на генетичній структурі локальних популяційних локусів *P. pallasiana*, що формується на цих територіях. У цих умовах повинен посилюватися відбір, особливо в несприятливих техногенних екотопах, і, крім того, в різному ступені можливий прояв ефекту засновника через обмежену кількість репродуктивно активних дерев, насіння яких анемохорно і /або зоохорно потрапляє на вільні території [128].

Через названі причини був проведений порівняльний аналіз генетичної структури деревостанів при насіннєвому відновленні *P. pallasiana* на згарищах в природній популяції Гірського Криму і навколо піонерних насаджень на залізорудному відвалі Криворіжжя.

Результати порівняльного аналізу генетичної структури двох природних популяцій, які складаються з генеративно розвинених рослин *P. pallasiana* в Гірському Криму і молодих деревостанів на згарищах і залізорудного відвалу, показують, що у останніх алельна різноманітність дещо менше, ніж у перших. У всіх чотирьох вибірках було описано 60 алелів 20 локусів, з яких 16 виявилися поліморфними (додаток 1).

У молодих самосівних деревостанах виявлено 39–42 алелі, що склало 65,0–70,0 % загальної кількості, а в корінних популяціях Криму алелів було

47 (78,3 %). У кожній з вибірок зустрічалися рідкісні алелі, відсутні в інших вибірках. Наявність цих алелів лише в молодих деревостанах може бути пов'язана як з віком рослин (елімінація рослин з цими алелями на більш пізніх стадіях онтогенезу), так і з рослинами-засновниками, які не ввійшли в вибірки, вивчені нами в двох корінних популяціях. в усіх чотирьох вибірках високу мінливість спостерігали у п'яти локусах – Mdh-3, Mdh-4, Dia-1, Dia-4 і Acp, за якими виявлена гетерозиготність варіювала від 21,7 до 68,4 %.

За іншими локусами висока гетерозиготність встановлена тільки в одній з вибірок, в тому числі і молодих рослин. Так, наприклад, високою мінливістю в деревостані на згарищах відрізнялися локуси Lap-1, Lap-2 і Fdh (31,8-36,4 %), а в самосівному деревостані на відвалі це були локуси Dia-2 і Got-3 (34,8-39,1%) (додаток 1).

У чотирьох досліджуваних деревостанах *P. pallasiana* описано 79 генотипів 20 алозимних локусів. За кількістю генотипів порівнювані вибірки не мали явно виражених відмінностей. У корінних популяціях їх було 54–56, що склало 68,4–70,1% загально встановленої кількості, а в молодих деревостанах на згарищах – 52 (65,8%) і на залізорудному відвалі – 51 (64,6%). З невисокою частотою зустрічалися поодинокі, властиві тільки молодим деревостанам генотипи.

Генетична структура корінних популяцій Криму та молодих деревостанів на згарищах і на відвалі була близька до рівноважної, так як фактичний розподіл генотипів відповідав теоретично очікуваному, згідно закону Харді-Вайнберга, за винятком окремих локусів (Mdh-4 і Adh-1).

У ряді локусів виявлені істотні відмінності в генетичній структурі природних популяцій біля смт Нікіта (Нік) та Долосси (Дол) і молодих деревостанів на згарищах і на відвалі, а також між ними (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Гетерогенність частот алелів і генотипів *P. pallasiana* в корінних популяціях, самосіві на згарищах Гірського Криму і на залізорудному відвалі

Локус	Гетерогенність частот					
	Алелів			Генотипів		
	залізоруд- ний відвал – згарище	Нік–Дол– згарище	Нік–Дол– залізоруд- ний відвал	залізоруд- ний відвал – згарище	Нік–Дол– згарище	Нік–Дол– залізоруд- ний відвал
Gdh	1,0 (1)	9,5 (4)*	9,1 (6)	1,0 (1)	5,6 (6)	7,8 (8)
Got-1	3,2 (1)	6,9 (2)*	–	3,4 (1)	7,1 (2)*	–
Got-2	0,4 (1)	0,7 (2)	1,8 (2)	1,5 (2)	3,3 (4)	2,5 (4)
Got-3	3,2 (1)	3,6 (4)	11,5 (4)*	3,7 (2)	3,7 (4)	12,4 (4)*
Mdh-2	–	5,9 (4)	6,0 (4)	–	5,9 (4)	6,0 (4)
Mdh-3	0,7 (1)	20,2 (8)**	18,7 (8)*	3,0 (2)	21,0 (10)*	20,5 (10)*
Mdh-4	1,0 (1)	21,6 (6)**	18,1 (6)**	3,5 (4)	24,4 (14)*	17,4 (12)
Dia-1	7,5 (1)**	11,6 (6)	11,1 (6)	8,1 (4)	12,2 (8)	10,6 (8)
Dia-2	1,2 (2)	5,2 (6)	9,6 (6)	1,4 (6)	5,2 (6)	9,6 (8)
Dia-4	13,8 (3)**	5,3 (4)	23,5 (6)***	12,9 (10)	6,8 (6)	27,2 (10)**
Acp	1,1 (2)	4,1 (6)	1,3 (4)	3,8 (4)	2,3 (6)	4,3 (6)
Adh-1	0,5 (2)	5,3 (6)	5,5 (6)	2,5 (1)	9,6 (10)	7,3 (8)
Adh-2	4,8 (2)	16,1 (4)**	21,4 (4)***	3,8 (3)	14,0 (6)*	15,3 (6)*
Lap-1	1,1 (1)	21,6 (4)***	14,1 (4)**	4,5 (4)	22,3 (4)***	12,9 (6)*
Lap-2	4,7 (1)	10,9 (4) *	25,4 (4)***	6,1 (6)	11,4 (4)*	20,7 (6)**
Fdh	7,2 (2)*	9,5 (6)	24,8 (6)***	11,1 (6)	13,7 (8)	16,4 (10)

Примітка. В дужках вказані ступені свободи. Відмінності достовірні * – при $P < 0,05$, ** – $P < 0,01$, *** – $P < 0,001$.

Значна алельна гетерогенність між молодим деревостаном на згарищах і самосівом на залізорудному відвалі встановлена за трьома локусами – Dia-1, Dia-4 і Fdh. Молоді деревостани *P. pallasiana* на згарищах істотно відрізнялися від корінних популяцій Гірського Криму за частотами алелів семи локусів і за цими ж локусами, за винятком одного (Gdh), за частотами генотипів. У подібному порівнянні між самосівом на відвалі і корінними популяціями виявлено вісім локусів з істотною алельною і шість з

генотипічною гетерогенністю. У чотирьох досліджуваних деревостанах 70–75 % алозимних локусів поліморфні (табл. 4.6).

Середня кількість алелів на локус у корінних кримських популяціях становила 2,35, на згарищах – 2,10, в самосівних деревостанах на відвалі – 1,95. Середній рівень гетерозиготності рослин в молодих (кримському і криворізькому) деревостанах істотно не відрізнявся від корінних популяцій Гірського Криму. У трьох деревостанах відзначений, згідно індексу фіксації Райта, невеликий дефіцит гетерозигот.

Таблиця 4.6

Значення основних показників генетичного поліморфізму *P. pallasiana* в корінних популяціях, самосіву на згарищах Гірського Криму і на Першотравневому відвалі

Місце знаходження популяцій	Частка поліморфних локусів (P ₉₉)	Середня кількість алелів на локус (A)	Середня гетерозиготність		Індекс фіксації Райта (F)
			очікувана (H _E)	фактична (H _O)	
Нікіта, Крим	0,750	2,350	0,193±0,014	0,179±0,014	0,073
Долосси, Крим	0,700	2,350	0,220±0,018	0,229±0,018	-0,041
Згарище, Крим	0,750	2,100	0,228±0,018	0,218±0,017	0,044
Першотравневий відвал, Кривбас	0,750	1,950	0,229±0,018	0,191±0,016	0,166

Згідно з середніми значенням коефіцієнтів FST і GST [220, 228] на міжвибірковій відмінності між молодими самосівними деревостанами припадає 1,3 % всієї генетичної мінливості, а між ними і корінними популяціями – 3,1 % (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Значення коефіцієнта F-статистики Райта (FST) і G-статистики Нея (GST) для деревостанів *P. pallasiana* Гірського Криму і залізорудного відвалу

Локус	Залізорудний відвал – на згарищах		Нік–Дол– залізорудний відвал		Нік–Дол–на згарищах	
	Fst	Gst	Fst	Gst	Fst	Gst
1	2	3	4	5	6	7
Gdh	0,005	0,011	0,023	0,027	0,023	0,036

Продовження табл. 4.7

1	2	3	4	5	6	7
Got-1	0,036	0,036	0,000	0,000	0,048	0,048
Got-2	0,004	0,004	0,013	0,013	0,005	0,005
Got-3	0,024	0,035	0,043	0,056	0,011	0,012
Mdh-2	0,000	0,000	0,021	0,019	0,021	0,019
Mdh-3	0,003	0,007	0,040	0,063	0,044	0,073
Mdh-4	0,005	0,007	0,040	0,038	0,050	0,052
Dia-1	0,040	0,079	0,027	0,026	0,026	0,023
Dia-2	0,006	0,006	0,009	0,025	0,030	0,011
Dia-4	0,047	0,049	0,057	0,041	0,011	0,007
Sod-1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sod-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sod-3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sod-4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acp	0,005	0,004	0,003	0,002	0,008	0,005
Adh-1	0,003	0,005	0,008	0,003	0,010	0,005
Adh-2	0,019	0,013	0,085	0,077	0,073	0,078
Lap-1	0,008	0,012	0,040	0,036	0,068	0,070
Lap-2	0,024	0,023	0,094	0,102	0,033	0,028
Fdh	0,023	0,024	0,062	0,091	0,027	0,032
Середнє	0,013	0,016	0,029	0,031	0,023	0,025

При цьому внесок окремих локусів у міжвибіркову мінливість різний. У парі молодих деревостанів на згарищах і на залізорудному відвалі найбільший внесок в їх відмінності вносять локуси Got-1, Dia-1 і Dia-4, яким властиві найбільш високі значення F_{ST} і G_{ST} . У випадку порівняння корінних кримських популяцій і самосівного деревостану на залізорудному відвалі це локуси Lap-2, Adh-2 і Fdh.

Значний внесок в міжвибіркові відмінності популяцій Нікіта-Доллоси і молодих деревостанів на згарищах вносять локуси Got-1, Mdh-3, Mdh-4, Adh-2 і Lap-1. На думку Ю.П. Алтухова [6], локуси з високими значеннями коефіцієнтів F_{ST} і G_{ST} в природних популяціях знаходяться під впливом локального дизруптивного відбору.

Генетична дистанція Нея (DN) [220] між самосівним деревостаном на залізорудному відвалі і корінними популяціями була більшою (0,015–0,025), ніж між популяціями і молодим деревостаном на згарищах (0,011–0,013), а також між самими популяціями (0,015). Між кримськими та криворізькими

молодими деревостанами DN досягала рівня популяційних відмінностей – 0,014.

Високі значення DN між самосівом на згарищах і популяціями вказують на те, що пірогенний фактор може локально суттєво змінювати генетичну структуру різновікових елементів популяцій, обумовлюючи її мозаїчність. Розглядати відмінності між кримськими та криворізькими молодими деревостанами тільки з позиції неоднакової спрямованості вектора відбору не можна, так як крім відбору тут ще діє фактор різних засновників.

Наші дослідження дозволили виявити піонерно-експлерентну здатність *P. pallasiana*, яка виявляється в активному заселенні вільних щебенево-гравійних і суглинних субстратів залізорудних відвалів Криворіжжя і суцільних згарищ в Криму. У першому випадку *P. pallasiana* реалізує петро-псамофітні якості, а в другому – пірофітні, що підтверджує подвійну екоприроду цього виду. На відкритих згарищах самосів не відчуває затінення з боку великих дерев і його щільність достатня для природного відновлення локальної ділянки популяції.

Активне щорічне насіннєве відновлення *P. pallasiana* навколо первинних насаджень, а також за рахунок самосівних молодих рослин на залізорудному відвалі Криворіжжя – початок процесу формування екстразональної мікропопуляції виду далеко за межами його природного ареалу. За алельною і генотипною різноманітністю ці мікропопуляції не поступаються молодому підросту на згарищах, оточеному дуже великою кількістю насіннєносних дерев.

Відмінності в генетичній структурі мікропопуляції *P. pallasiana* на відвалі в порівнянні з природними популяціями і підростом на згарищах є істотними. В умовах відвалу йде процес адаптації популяції з формуванням генетичного оптимуму в едафічних і природно-кліматичних умовах, не характерних для існування виду.

Географічна ізоляція від природних популяцій *P. pallasiana*, що здатна до активного розселення, на великому за площею залізорудному відвалі, і дія

факторів відбору можуть призвести до алопатичного ефекту – до формування стійкого екотипу, адаптованого до несприятливих умов гетерогенного за едафічними умовами техногенного екотопу.

4.3.2. Особливості генетичної структури «острівних» популяцій сосни звичайної на залізрудних відвалах Криворіжжя

З'ясування питання: чи відновлюються на сприятливих за умовами ділянках відвалів тільки рослини із найстійкішими генотипами, чи відбувається стихійно-масове випадкове розселення сосен, має не тільки наукове значення, але і практичне. Якщо відновлення *P. sylvestris* в умовах відвалів відбувається під впливом спрямованого, інтенсивного відбору, то генетична структура цих ізольованих мікропопуляцій буде відрізнятися від природних популяцій цього виду в степовій зоні України. У випадку, коли генетична структура формуючих популяцій на відвалах буде мало відрізнятися від природних, то відповідно, для озеленення відвалів можна масово використовувати зібраний на місці насінневий матеріал.

Для вирішення цих питань було проведено порівняльний аналіз генетичної мінливості двох популяцій *P. sylvestris*, що виникли в результаті самовідновлення на залізрудному відвалі Криворіжжя, і чотирьох природних популяцій у степовій зоні України. Об'єктами досліджень слугували дві локальні популяції *P. sylvestris* на Петрівському відвалі (КР-1) та Автовідвалі (КР-2) і чотири природні популяції (В, Г, І, ІХ) в Харківській і Луганській областях [30, 97–98].

На Автовідвалі насіння для подальшого генетичного аналізу було відібране з 25 рослин, на Петрівському – з 19 рослин. Із двох природних популяцій Кременецького лісництва Луганської області (В, Г) та двох, розташованих в Ізюмському лісництві Харківської області (І, ІХ) насіння було взято з 23–54 рослин.

В результаті електрофоретичного аналізу 8 ферментних систем 169 рослин загальної вибірки з 6 популяцій встановлено 57 алелів 18 локусів, три з яких – Sod-1, Sod-2 і Sod-3 – виявилися мономорфними (додаток 2).

У чотирьох природних популяціях виявлено від 37 до 43 алелів або 64,9–75,4 % від загальної їх кількості. Слід зазначити, що вибірка з популяції «В» перевершує за чисельністю вибірку з популяцій «Г» в 2,2 рази, проте в популяції «В» описано всього на три алелі більше, відповідно 43 і 40. У обох молодих формуючих популяціях на відвалі виявлено 37 алелів (64, 9 %), що відповідає нижній межі для степових природних популяцій *P. sylvestris*, які складаються з генеративно розвинених дерев. Спільними для всіх шести популяцій були 26 алелів, що склало 45,6 % з 57 виявлених алелів. Частота трапляння предомінантної алелі (1.00) за поліморфними локусами у всіх шести популяціях була $> 0,500$, за винятком локусів Got-2 і Got-3 в популяції *P. sylvestris* на Автовідвалі.

З 18 досліджуваних локусів до числа наймінливіших в природних популяціях *P. sylvestris* належать шість: Gdh, Got-2, Got-3, Dia-1, Acp, Mdh-3, за якими середня фактична гетерозиготність варіювала в межах 42,5–55,6 % (табл. 4.8). Шість з цих локусів були високо мінливими в популяціях *P. sylvestris* на залізорудних відвалах (43,2–65,9 %).

Треба відзначити, що три низькомінливих локуси в природних популяціях *P. sylvestris*: Adh-2, Got-1 і Sod-4 – були мономорфними у рослин з залізорудних відвалів.

Згідно середніх значень коефіцієнта інбридингу особини щодо популяції (FIS), для чотирьох природних популяцій характерний невеликий надлишок гетерозигот в 1 % і значно більший для рослин залізорудних відвалів – 14,9 %. Найбільший внесок в надлишкову гетерозиготність рослин відвалів вносять чотири локуси з високою мінливістю – Mdh-3, Gdh, Acp і Got-2, у яких, судячи за значеннями FIS, перевищення гетерозигот становило 24,8–34,2 %.

Таблиця 4.8.

Кількість алелів, їх гетерогенність (χ^2 -тест) і значення середньої полокусної гетерозиготності чотирьох природних популяцій *P. sylvestris* степової зони України і локальних популяцій на залізорудних відвалах

Ферменти	Локус	Природні популяції степової зони			Популяція на залізорудному відвалі			Індекс інбридингу особи відносно популяції, F _{IS}	
		Кількість алелів в загальній вибірці (В, Г, І, ІХ)	Гетерозиготність (В, Г, І, ІХ)		Кількість алелів (КР1, КР2)	Гетерозиготність (КР1, КР2)			
			фактична, H _О	очікувана, H _Е		фактична, H _О	очікувана, H _Е	степова зона	залізорудні відвали
Алкогольдегідрогеназа	Adh-1	5	0,258	0,239	2	0,091	0,081	−0,058	−0,052
	Adh-2	3	0,146	0,189	1	0,000	0,000	0,167	0,000
Глутаматдегідрогеназа	Gdh	2	0,464	0,451	2	0,500	0,391	−0,029	−0,245
Глутаматоксалоацетат-трансаміназа	Got-1	3	0,040	0,039	1	0,000	0,000	−0,012	0,000
	Got-2	4	0,520	0,488	4	0,659	0,491	−0,060	−0,312
	Got-3	2	0,448	0,428	3	0,455	0,498	−0,034	0,088
Діафораза	Dia-1	5	0,447	0,486	4	0,432	0,383	0,060	−0,136
	Dia-2	3	0,143	0,147	3	0,182	0,165	0,013	−0,086
	Dia-4	3	0,083	0,079	3	0,114	0,108	−0,045	−0,046
Кисла фосфатаза	Acp	4	0,425	0,512	3	0,614	0,464	0,187	−0,321
Лейцинамінопептидаза	Lap-1	3	0,237	0,201	4	0,318	0,267	−0,094	−0,160
	Lap-2	4	0,175	0,162	3	0,204	0,180	−0,077	−0,093
Малатдегідрогеназа	Mdh-2	2	0,066	0,063	2	0,068	0,068	−0,048	0,006
	Mdh-3	5	0,556	0,459	3	0,523	0,419	−0,203	−0,243
Супероксиддисмутаза	Sod-4	2	0,080	0,076	1	0,000	0,000	−0,043	0,000
Середнє		50	0,237	0,236	39	0,231	0,201	−0,010	−0,089

Значима алельна гетерогенність при порівнянні чотирьох природних популяцій встановлена для шести локусів (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Алельна гетерогенність природних популяцій *Pinus sylvestris* степової зони України і локальних популяцій на залізорудному відвалі, χ^2 -тест

Локус	Популяції		
	В-Г-I-IX	В-Г-I-IX-KP1-KP2	KP1-KP2
Gdh	4,01 (3)	9,37 (5)	1,29 (1)
Got-1	4,01 (6)	7,22 (10)	-
Got-2	15,13 (9)	30,83 (20)	5,96 (3)
Got-3	2,41 (3)	17,83 (10)	3,01 (2)
Sod-4	3,22 (3)	7,92 (5)	-
Mdh-2	2,59 (3)	2,63 (5)	0,13 (1)
Mdh-3	22,73 (12)*	33,01 (20)*	6,65 (2)
Dia-1	50,70 (12)***	79,85 (20)***	7,04 (3)
Dia-2	7,72 (6)	17,29 (10)	1,47 (2)
Dia-4	15,76 (6)*	15,63 (10)	0,76 (2)
Acp	41,84 (9)***	55,49 (15)***	0,78 (2)
Adh-1	14,82 (12)	50,03 (20)***	5,50 (1)*
Adh-2	13,08 (6)*	27,77 (10)**	-
Lap-1	15,43 (6)*	38,23 (20)**	6,45 (3)
Lap-2	8,89 (9)	21,57 (15)	5,15 (2)

Примітка. Відмінності достовірні при * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$; в дужках вказано число ступенів свободи.

У випадку порівняння природних популяцій і двох із залізорудних відвалів, істотна алельна гетерогенність виявлена також в шести локусах, з яких п'ять були тими ж, що і при порівнянні тільки природних популяцій, за винятком наявності локусу Adh-1. Тільки завдяки цьому локусу алельна гетерогенність двох популяцій на залізорудних відвалах виявилася суттєвою.

У рослин чотирьох природних популяцій поліморфними є 66,7–83,3 % досліджуваних локусів, а на один локус в середньому припадає 2,056–2,389 алелів (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Значення основних показників генетичного поліморфізму степових природних популяцій *P. sylvestris* і популяцій, які формуються на відвалах Криворіжжя

Популяція	Обсяг вибірки, шт	Частка поліморфних локусів, P_{99}	Середня кількість алелів на локус, A	Середня гетерозиготність		Індекс фіксації Райта, F
				очікувана, (H_E)	фактична, (H_o)	
Луганська обл., Кременецький р-н (популяція В)	54	0,833	2,389	0,231±0,013	0,219±0,012	0,052
Луганська обл., Кременецький р-н (популяція Г)	25	0,833	2,222	0,221±0,017	0,242±0,016	-0,095
Харківська обл., Ізюмський р-н (популяція І)	23	0,667	2,056	0,228±0,018	0,236±0,018	-0,035
Харківська обл., Ізюмський р-н (популяція ІХ)	23	0,778	2,278	0,206±0,018	0,221±0,018	-0,073
В середньому по природних популяціях	125	0,833	2,944	0,230±0,008	0,227±0,008	0,013
Петрівський відвал (КР1)	19	0,667	2,056	0,189±0,019	0,202±0,019	-0,069
Автовідвал (КР2)	25	0,661	2,111	0,200±0,016	0,253±0,016	-0,265
В середньому по локальних відвальних популяціях	44	0,667	2,333	0,201±0,012	0,231±0,013	-0,149

Ці два основних показника генетичного поліморфізму в популяціях *P. sylvestris* на відвалах знаходяться на нижній межі, характерній для степових природних популяцій [154]. Молоді рослини однієї з популяцій (КР1) на відвалі відрізняються більш низьким рівнем мінливості ($A_{le} = 20,2\%$), а іншої популяції (КР2) – більш високим ($A_{le} = 25,3\%$). У чотирьох степових популяціях з генеративно розвиненими рослинами значення середньої фактичної гетерозиготності варіювали від 21,9 до 24,2 %. Для генеративно розвинених рослин чотирьох популяцій характерна певна нестача (5,2%) або надлишок (9,5 %) гетерозигот. У молодих рослин на

відвалі встановлено надлишок гетерозигот, що в популяції на Автовідвалі досягав 26,5 %.

Згідно з середніми значеннями коефіцієнтів F_{ST} і G_{ST} , які характеризують підрозділеність популяцій, на міжпопуляційну мінливість чотирьох степових популяцій *P. sylvestris* припадає лише 1,9 % від всієї генетичної мінливості (табл. 4.11). При включенні в цей аналіз двох популяцій на залізорудному відвалі, їх розділеність зростає до 2,5%. Підрозділеність популяцій на Авто- та Петрівському відвалах досягає 1,9%, а найбільший внесок вносять три локуси – *Got-2*, *Adh-1* і *Mdh-3*.

Таблиця 4.11

Роздільність степових природних популяцій *P. sylvestris* і популяцій, які формуються на залізорудних відвалах Криворіжжя, відповідно до значень коефіцієнтів F_{ST} і G_{ST}

Локус	В-Г-I-IX		В-Г-I-IX-KP1-KP2		KP1-KP2	
	F_{ST}	G_{ST}	F_{ST}	G_{ST}	F_{ST}	G_{ST}
1	2	3	4	5	6	7
Gdh	0,023	0,023	0,028	0,028	0,015	0,015
Got-1	0,007	0,006	0,011	0,010	0,000	0,000
Got-2	0,017	0,008	0,023	0,024	0,024	0,048
Got-3	0,006	0,010	0,028	0,030	0,018	0,019
Sod-1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sod-2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sod-3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sod-4	0,013	0,013	0,023	0,023	0,000	0,000
Mdh-2	0,010	0,010	0,008	0,008	0,001	0,001
Mdh-3	0,024	0,027	0,028	0,038	0,029	0,066
Dia-1	0,047	0,043	0,056	0,045	0,018	0,014
Dia-2	0,021	0,024	0,026	0,027	0,010	0,010
Dia-4	0,025	0,022	0,020	0,018	0,005	0,006
Acp	0,055	0,042	0,052	0,032	0,004	0,006
Adh-1	0,016	0,016	0,039	0,039	0,025	0,062
Adh-2	0,032	0,038	0,052	0,067	0,000	0,000

Продовження табл. 4.11

1	2	3	4	5	6	7
Lap-1	0,022	0,043	0,033	0,044	0,022	0,039
Lap-2	0,011	0,008	0,022	0,022	0,028	0,045
Середнє	0,018	0,019	0,025	0,025	0,011	0,019

У розділеність природних степових популяцій помітний внесок вносять й інші локуси – Dia-1, Acp і Lap-1. Очевидно, це є відображенням певної різноспрямованості у формуванні генетичної структури природних популяцій і популяцій на залізородних відвалах.

Чотири степові ізольовані популяції *P. sylvestris* слабо диференційовані, про що свідчать низькі значення коефіцієнта генетичної дистанції Нея (DN), які варіюють в межах 0,008–0,015 і складають в середньому 0,010 (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Значення коефіцієнта дистанції Нея (DN) для природних популяцій *P. sylvestris* степової зони України і популяцій, які формуються на відвалах

Популяції	В	Г	І	ІХ	КР1	КР2
В	–	0,015	0,011	0,008	0,011	0,015
Г		–	0,009	0,010	0,015	0,010
І			–	0,009	0,014	0,019
ІХ				–	0,005	0,012
КР1					–	0,015
КР2						–

На близькому рівні диференціації знаходяться популяції *P. sylvestris* у порівнянні зі степовими природними популяціями (DN пор. = 0,013). Значення DN для двох популяцій на відвалах досягало 0,015.

Побудована на підставі значень коефіцієнтів генетичної дистанції дендрограма (рис. 4.3), з використанням невваженого парно-групового методу кластерного аналізу (UPGMA), наочно показує, що одна з популяцій на залізорудному відвалі Криворіжжя (КР1) за своєю генетичною структурою найбільш близька до однієї з природних популяцій *P. sylvestris* в Ізюмському лісництві. Інша популяція на Автовідвалі не має такої подібності.

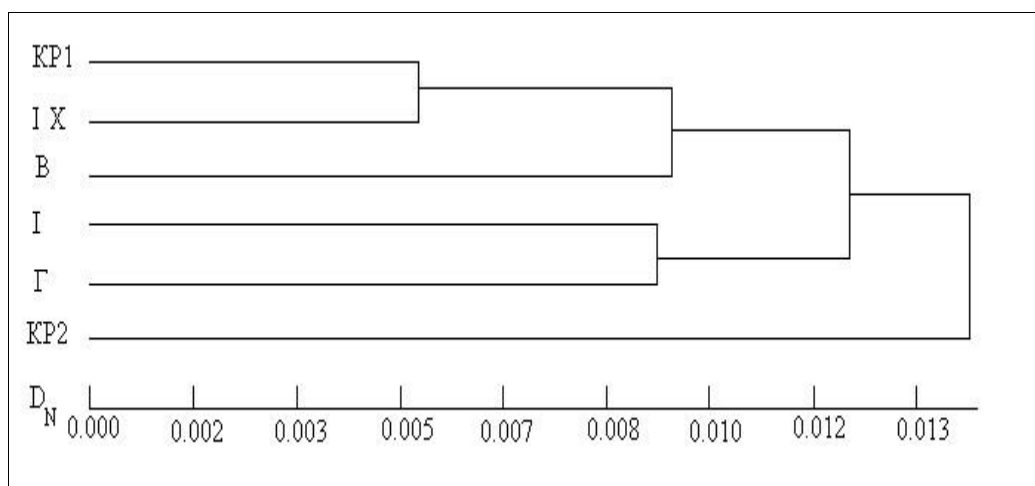


Рис. 4.3. Дендрограма, побудована на основі коефіцієнтів генетичної дистанції Нея, для природних популяцій *P. sylvestris* степової зони України і популяцій, які формуються на залізорудних відвалах Криворіжжя

Таким чином, випадкова міграція насіння штучного насадження *P. sylvestris* на Петрівському відвалі призводить до виникнення популяції з незбідненою алельною різноманітністю і без явних зсувів в генетичній структурі. Локальна популяція *P. sylvestris* на відвалі має близьку до рівноваги генетичну структуру і за своєю генетичною різноманітністю відповідає нижній межі, властивій степовим популяціям цього виду. На Автовідвалі формується популяція з домінуванням гетерозиготних особин.

Можна стверджувати, що при природному формуванні популяції *P. sylvestris* на залізорудних відвалах ефекту типу «пляшкове горлечко» не відбувається, що відзначається при реколонізації видами частини втраченого ареалу, де відбулися катастрофічні події. Очевидно, при формуванні популяції на Петрівському відвалі дія балансуючого відбору, що «вирівнює»

її генетичну структуру за рахунок відбору одних і тих же комбінацій алелів, більш виражена, ніж у випадку популяції на Автовідвалі. Такий тип відбору, судячи з результатів нашого аналізу, властивий і степовим природним популяціям. В цілому з проведеного аналізу випливає й інший висновок – ефективна чисельність популяцій *P. sylvestris* в несприятливих умовах існування не така вже й значна.

Популяції *P. sylvestris* на залізорудних відвалах дуже перспективні для організації регіональних генетичних резерватів як джерел насіння для подальшого озеленення інших залізорудних відвалів Криворіжжя. Активне міграційне поселення і насіннєве розмноження *P. sylvestris* на залізорудних відвалах показує, що їх озеленення можливе за рахунок прямого масового посіву насіння цього виду, що істотно знизить витрати їх рекультивациі.

Висновки по розділу

1. В окремих насадженнях *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі сумарний урожай шишок за весь період репродукції (1503–212 шт.) був вищим, ніж у дерев КБС (710–143 шт.). Фактична насіннєва продуктивність нормального за розмірами насіння, яка визначалася за кількістю вм'ятин у продуктивних лусочках шишок, у дерев на відвалі приблизно дорівнювала тій, що відзначалася у дерев з дендрарію, а в двох насадженнях була істотно вищою: на 34,0 та 46,2 %.

2. Молоді особини *P. sylvestris* в умовах залізорудних відвалів Криворіжжя відрізняються помітно більшою врожайністю шишок, ніж старші за віком рослини з ботанічного саду: максимальна кількість шишок в опаді 17–22-річних рослин *P. sylvestris* в насадженнях на Автовідвалі є у 2,8–3,3 рази більшою, ніж в опаді 25-річних рослин дендрарію.

3. У дослідженнях мінливості 20 алозимних локусів, 16 з яких були поліморфними, в чотирьох деревостанах *P. pallasiana* (Першотравневий відвал, дві природні популяції і самосів на згарищах Гірського Криму) було

виявлено 60 алелів. В локальній популяції на відвалі їх на 20,5 % менше, ніж в природній популяції Криму. Відносна кількість генотипів (усього 79), що описані для всіх деревостанів, була досить близькою: відвал – 64,6 %, згарища – 65,8 %, кримські популяції – 68,4–70,1 %. Генетична структура усіх чотирьох деревостанів була близькою до рівноваги згідно закону Харді-Вайнберга.

4. Локальні популяції *P. sylvestris* на двох Криворізьких залізорудних відвалах мали дещо меншу кількість поліморфних локусів і кількість алелів на локус, ніж три з чотирьох природних популяцій Луганської і Харківської областей. Отже встановлено, що в інтродукційних популяціях сосен на відвалах дещо менше алельне різноманіття, однак за рівнем гетерозиготності вони не поступаються природним популяціям Гірського Криму і Степу.

РОЗДІЛ 5

ОСОБЛИВОСТІ ПРОСТОРОВОЇ, ВІКОВОЇ ТА ВІТАЛІТЕТНОЇ СТРУКТУРИ ПОПУЛЯЦІЙ *PINUS PALLASIANA* ТА *P. SYLVESTRIS* НА ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛАХ КРИВОРІЖЖЯ І НА ЗГАРИЩАХ У КРИМУ

Самовідновлення сосни кримської вкрай зрідка зустрічається в штучних лісонасадженнях інтродукційного ареалу і не щорічно відзначається в природних популяціях Криму [78]. Незадовільне відновлення характерне і для *P. sylvestris* в насадженнях Степової зони, де наявна жорстка конкуренція між сіянцями сосни та степовими рослинами, які утворюють трав'яний ярус у деревостанах [13, 191]. Відсутність щільного трав'яного покриву на більшій частині поверхні залізорудних відвалів Криворіжжя сприяє природному відновленню *P. pallasiana* і *P. sylvestris*. У самосіві *P. pallasiana* і *P. sylvestris* з роками збільшується висота і об'єм крони рослин, а отже, і запас біомаси.

З'ясування специфіки колонізаційної активності (масового поширення) широкоареального виду *Pinus sylvestris* і вузькоареального – *P. pallasiana* при освоєнні ними вільних від рослинності техногенних екотопів необхідне для розробки способів, прийомів і планів рекультивациі [95, 196].

5.1. Просторова, вікова та віталітетна структура інтродукційної популяції сосни кримської на Першотравневому відвалі

Дослідження були проведені на Першотравневому відвалі, що займає площу 44 га, на якому відсипка завершена більше 20 років тому. На схилах, а також на трьох різновисотних штучних терасах (бермах) і вершині відвалу в 1974–1980 рр. групами були висаджені сіянці сосни кримської. На першій бермі збереглися найбільші за площею групи рослин (до декількох тисяч м²). На інших бермах і вершині відвалу площа цих насаджень була різною: від 40 до 3500 м² (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Топологічні і чисельні характеристики насаджень *P. pallasiana* і самовідновлених навколо них мікропопуляцій на
Першотравневому відвалі

Ділянки відвалу	Мікропопуляції (географічне розташування)	Площа мікропопу- ляцій, м ²	Материнських рослин в мікропопуляції	Кількість материнських рослин в мікропопуляції, шт	Плодоносні материнські рослини в мікропопуляції , %	Кількість самосівних рослин в мікропопуляції на 100м ² , шт
Берма II	1– (пд.-сх.)	858	40	18	94	41
	2 – (сх.)	10000	2500	более 300	≈ 95	80
Берма III	1 – (пн.- зах.)	1935	300	49	96	45
	2 – (пн.- сх.)	580	45	15	86	8
	3 – (пн.)	425	45	30	87	7
	4 – (пд.- сх.)	3200	300	125	95	24
Схил, берма II	1 – (пд.-сх.)	8500	3500	більше 700	97	42
Схил, берма III	1 – (пд.)	2700	270	25	92	25
	2 – (сх.)	3000	500	183	98	66
	3 – (пн.-сх.)	1575	115	16	94	32

Насінненошення *P. pallasiana* в цих насадженнях відзначається протягом останніх 10 років. Насіннева продуктивність рослин в розрахунку на одну шишку, як це нами вже було зазначено, висока. Біля кожної з цих просторово розділених груп рослин *P. pallasiana* проходить її відновлення насіннєвим шляхом.

На Першотравневому відвалі виявлено 10 мікропопуляцій *P. pallasiana*, які формуються навколо штучних насаджень цього виду (рис. 5.1). Площа природного насіннєвого розселення *P. pallasiana* навколо материнських насаджень варіює від 425 до 10000 м². При цьому зайнята материнськими деревами площа становить 40–3500 м². Отже, розміри осередків природного розселення *P. pallasiana* в 2,4–21,5 рази більші, ніж площа материнських насаджень.



Рис 5.1. Природне відновлення *Pinus pallasiana* навколо материнських насаджень на різних частинах Першотравневого відвалу

Площа і щільність розселення *P. pallasiana* залежать від місця зростання материнських рослин на відвалі. Про це свідчить той факт, що навколо насадження на південному схилі берми III, чисельністю в 25 рослин, формується мікросайт площею в 2700 м², а навколо насадження з більш ніж 700 особин на південно-східному схилі берми II – територія розселення становить 8500 м². У першому випадку на одну материнську рослину доводиться 108 м² мікросайту з 25 особинами самосіву на 100 м², а в другому – 12,1 м² та 42 особи відповідно. Найбільш висока щільність самосіву *P.*

pallasiana виявлена в центральних частинах двох мікросайтів: в східній частині берми II (80 особин на 100 м²) і на східному схилі берми III (66 ос. / 100 м²).

Найменша щільність самосіву відзначена на північній (7 особин / 100 м²) і північно-східній (8 особин / 100 м²) ділянках берми II. На бермі I і нижче по схилу, де зростають найбільш численні первинні насадження *P. pallasiana*, які оточені щільним трав'яним покривом, природного відновлення цього виду не спостерігали. Висока щільність самосіву *P. pallasiana* відзначена на відкритих ділянках відвалу, слабо колонізованих трав'янистою рослинністю. Ці факти свідчать на користь думки, що заліснення породних відвалів у степовій зоні може лімітуватися низькою конкурентною спроможністю деревних рослин на ранніх етапах їх онтогенезу у трав'яних фітоценозах.

Значущим аспектом у розумінні організації мікропопуляцій є аналіз їх вікового складу. Наявність рослин різного віку в досліджуваних мікропопуляціях *P. pallasiana* не є однаковою (табл. 5.2). Найменш поширені в них рослини 2- і 10-річного віку, а найбільша кількість – 3-х, 4-х і 7-річних рослин. Відмінності в кількості рослин у самосіві *P. pallasiana* в різні роки становить 1,4–35,8 разів.

Таблиця 5.2

Віковий склад самосіву *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі

Ділянки відвалу	Вік, років								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Кількість рослин, шт								
Берма II, південно-східна частина	8	362	210	90	32	74	10	2	1
Берма II, західна частина	0	8	11	11	4	11	2	1	0
Південно-східний схил берми II	22	96	78	29	14	111	45	46	6
Берма III, вершина відвалу	2	27	31	11	12	30	19	18	5
Західний схил берми III	5	3	5	10	8	45	22	3	0
Південно-східний схил берми III	8	41	47	27	12	51	19	16	3
Разом	45	537	382	178	82	322	117	86	15

Неоднорідність вікового складу мікросайтів, ймовірно, пов'язана з періодичністю високого врожаю насіння у материнських рослин, а також визначається сприятливістю кліматичних умов в період проростання насіння і ювенільного розвитку проростків. Останнє підтверджується відсутністю в мікросайтах однорічних сіянців, що, мабуть, викликане їх загибеллю в другій половині весни 2005 року, через аномально жаркий і посушливий період на початковій стадії вегетації рослин.

На Першотравневому відвалі рослин *P. pallasiana* по досягненню репродуктивної фази розвитку відновлюється шляхом самосіву з неоднаковою інтенсивністю в різні роки. При цьому рослини самосіву *P. pallasiana* на відвалі в 7–10-річному віці вступають в репродуктивну фазу розвитку і, ймовірно, також беруть участь в його заселенні. З цієї причини виділені на залізорудному відвалі 10 мікропопуляцій (мікросайтів) *P. pallasiana* можна розглядати як інтродукційну популяцію (рис. 5.2).

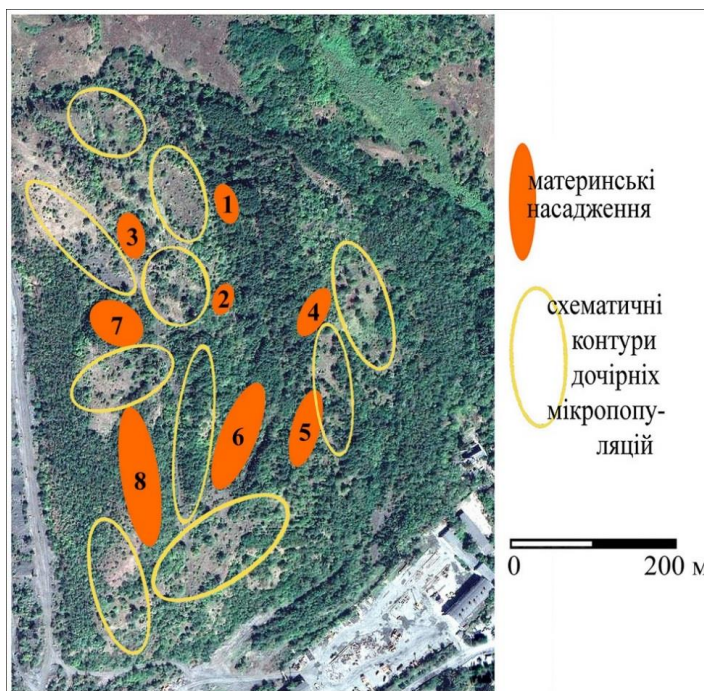


Рис. 5.2. Схема розташування насаджень *Pinus pallasiana* і сформованих навколо них мікропопуляцій самосіву на Першотравневому відвалі

Діагностика життєвого стану самосіву *P. pallasiana* на відвалі показала, що переважна більшість рослин є здоровими. Лише на окремих ділянках відвалу відзначений хлороз і некроз хвої у молодих рослин (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Морфометричні характеристики рослин найпоширеніших вікових категорій в мікропопуляціях *P. pallasiana* на
Першотравневому відвалі

Ділянка відвалу	Вік, років	Висота, м	Діаметр стовбура, см	Приріст поточного року, см		Сроки збереження хвої, років	Стан хвої, бал
				осьовий	бічних пагонів		
Берма II, пд.-сх. частина	3	0,37±0,01 31,8	2,3±0,3 176,9	19,1±0,6 33,6	14,4±0,5 37,0	3	10% -задов., 90% здоров.
	7	1,60±0,21 39,8	3,9±0,4 32,8	37,9±4,4 33,0	23,8±1,7 21,7	4-5	У 15% рослин – некроз хвої 50-75%; у інших – 10%
Берма II, зах. частина	3	0,21±0,05 23,18	1,5±0,9 16,04	11,7±2,2 53,2	8,7±1,2 38,7	3	здоров.
	7	1,10±0,15 33,9	4,2±0,3 19,3	22,8±1,9 20,2	14,5±1,9 32,6	4	здоров.
Берма II, пд.-сх. схил,	3	0,18±0,01 30,3	0,7±0,1 42,8	8,3±1,0 39,4	6,9±0,9 45,0	3	здоров.
	7	1,53±0,15 22,1	4,9±0,3 12,8	32,4±3,3 22,7	21,6±1,6 16,2	4-5	здоров.
Берма III	3	0,35±0,03 46,4	0,9±0,1 68,2	11,1±1,3 44,9	8,1±1,1 49,2	3	здоров.
	7	2,30±0,23 25,2	2,6±0,8 79,2	42,5±3,1 17,8	27,5±1,1 9,9	4-5	здоров.
Берма III, зах. схил	3	0,17±0,06 69,3	0,5±0,1 42,5	10,8±3,3 61,87	4,8±2,5 103,7	3	здоров.
	7	1,71±0,07 25,6	3,4±0,2 32,7	32,9±1,6 27,0	18,8±1,1 31,7	4-5	здоров.
Берма III, пд.-сх. схил	3	0,19±0,01 26,4	0,5±0,1 32,5	8,8±0,8 25,9	7,6±0,7 26,2	3	здоров.
	7	1,04±0,06 31,4	2,2±0,2 40,5	25,0±1,5 28,4	19,3±1,4 32,9	3	здоров.

Очевидні й морфометричні відмінності у рослин найбільш поширених вікових категорій на різних ділянках відвалу. Це, безумовно, визначається високою гетерогенністю едафічних умов в місцях поселення рослин. При сприятливих умовах зростання (вершина відвалу, берма III), середня висота 7-річних рослин становить 2,3 м, річний приріст осьового пагону – 42,5 см, а бічний – 27,5 см. Рослини, що ростуть на схилах відвалу, характеризуються меншою інтенсивністю росту.

Поширення самосіву залежить від спрямованості розльоту насіння навколо насадження та можливості закріплюватися на схилах відвалу в зв'язку з водною та вітровою ерозією.

5.2. Особливості відновлення, відмінності в морфометрії і насінневої продуктивності самосіву *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі і на згарищах у Гірському Криму

Задля порівняння особливостей насінневого відновлення *P. pallasiana* на згарищах в Криму і залізорудних відвалах Криворіжжя, а також відмінності в морфометрії і репродуктивній потенції самосіву нами залучені результати досліджень, проведених у 2005–2007 роках на трьох згарищах в природній гірській популяції (макросхил поблизу селища Нікіта, середній пояс) (рис. 5.3). Площа згарищ – 2–5 га; вони розташовані на відстані 200–700 м одне від одного. На території кожного зі згарищ закладали по три пробні ділянки 100 м² та визначали загальну кількість рослин, їх вік, висоту рослин, діаметр стовбура біля основи, річний приріст осьового і бічних пагонів.

За такою ж схемою були проведені дослідження самосіву *P. pallasiana*, що формується на залізорудних відвалах навколо раніше посаджених на ньому 30–35-річних насінноносних дерев.

Pinus pallasiana на згарищах в Гірському Криму відновлюється не рівномірно. Згарища покриті безліччю розрізнених і в якійсь мірі однорідних груп рослин. Подібне просторове розміщення спостерігається і при природному розселенні цього виду на залізорудних відвалах. Кожна група

рослин, як правило, складається з різновікових особин, що обумовлено різночасністю обнасінення і різними умовами мікросередовища.



Рис. 5.3. Відновлення *Pinus pallasiana* згарищах у природній популяції Гірського Криму

Відновлення *P. pallasiana* на згарищах зі зростаючою активністю відбувалося перші п'ять років (рис. 5.4, а). Відсоток рослин, які поселилися в цих роках збільшився від 5,8 % в перший рік до 24,0 % на п'ятий рік від загальної їх кількості, зафіксованого на момент спостереження.

На шостий рік відбувся спад заселення до 9,6 %, а в наступні сім років – явне його згасання до 1,0–5,8%. За перші шість років на згарищах заселилося 84,6% рослин від наявних на момент досліджень. Динаміка колонізації *P. pallasiana* на залізрудних відвалах була дещо іншою: відмічено три «спалахи» заселення на 4-й і 7–8-ий роки (рис 5.4, б). В цей період відносна кількість заселених рослин становила 18,3–30,4 % від

загальної зафіксованої їх кількості на пробних ділянках. Треба відзначити, що процес заселення *P. pallasiana* на відвалах відбувається, на відміну від згарищ, щорічно, причому частка молодих 2–5-річних сіянців на відвалі становить 64,7%, а на згарищах 2–8-річних тільки 15,4%. Стабільно насіннєносні дерева в невеликих розрізнених насадженнях *P. pallasiana* на відвалах забезпечуть постійне покриття вільної території навколо них в радіусі до 300–500 м необхідного для відновлення кількістю життєздатного насіння.

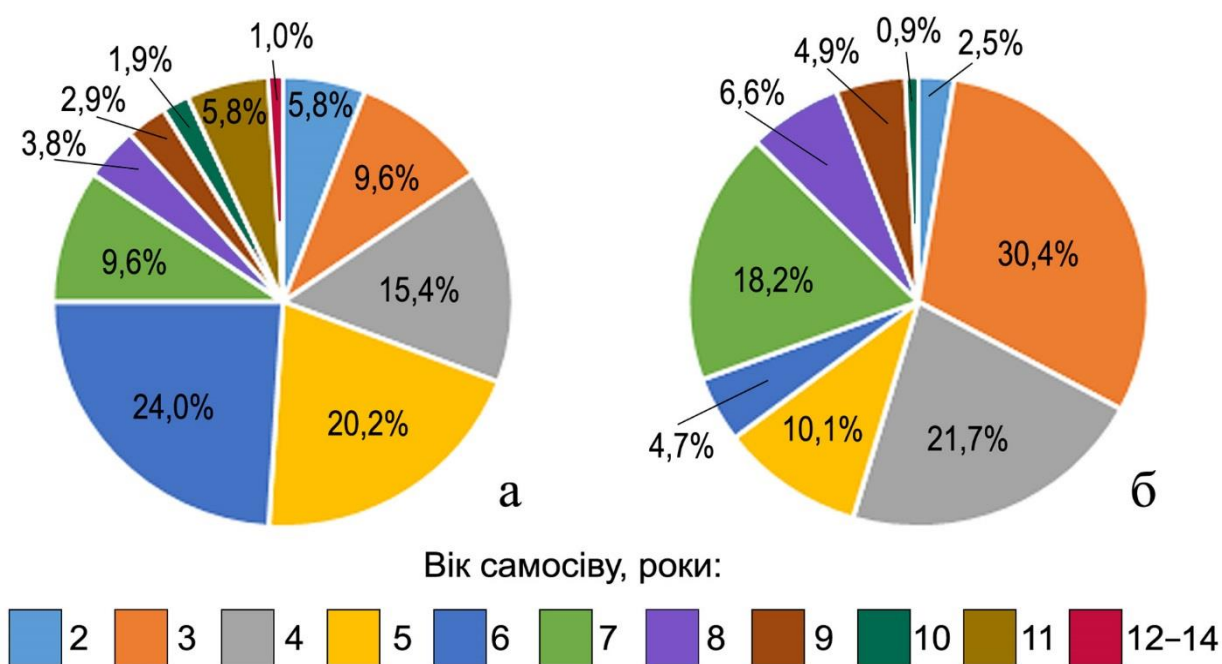


Рис. 5.4. Вікова структура самосіву *Pinus pallasiana* (2-14 років): а – на згарищах у природній популяції Гірського Криму; б – навколо насаджень на Першотравневому відвалі

Молоді рослини *P. pallasiana* на залізорудному відвалі Криворіжжя відрізнялися кращим зростом, ніж рослини такого ж віку на згарищах в Криму. Десятирічні рослини самосіву на відвалі були на 94 см вище, а діаметр стовбура – на 2,5 см більше, ніж у рослин на згарищах (табл. 5.4).

Крім того, річний приріст осьового і бічного пагонів у 10-річних рослин відвалів був відповідно в 2,3 і 2,1 рази більше в порівнянні з одновіковими рослинами згарищ. Хід росту дерев за висотою і діаметром є

показниками їх життєвості і дозволяють отримати ретроспективну оцінку розвитку деревостанів в конкретних умовах середовища.

Таблиця 5.4.

Морфометричні характеристики 7–10-річного самосіву *P. pallasiana* на згарищах Гірського Криму і на Першотравневому відвалі

Вік рослин, роки	Висота рослин, м		Діаметр стовбура біля основи, см		Річний приріст, см			
					осьовий		бокових пагонів	
	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%
На згарищах у природній популяції Гірського Криму								
7	1,1±0,1	21,2	2,3±0,4	30,0	14,3±2,0	24,5	9,7±0,9	15,8
8	1,1±0,1	20,6	2,3±0,2	12,8	9,3±2,3	49,4	6,9±0,5	15,0
9	1,3±0,1	29,9	3,2±0,3	27,8	18,5±2,0	35,1	13,9±1,2	27,2
10	1,6±0,1	35,6	3,9±0,2	30,5	17,8±1,3	35,5	13,0±1,0	36,3
Навколо первинних насаджень на Першотравневому відвалі								
7	1,5±0,1	38,3	3,2±0,2	41,7	32,4±1,2	32,6	20,3±0,7	32,5
8	1,8±0,1	29,7	4,2±0,2	25,1	37,8±2,3	30,6	22,1±0,9	21,5
9	2,0±0,1	15,5	5,1±0,2	17,0	33,6±1,5	17,3	23,0±1,2	19,5
10	2,5±0,1	10,0	6,4±0,1	6,3	40,3±1,8	17,0	27,9±1,8	25,5

Більш детально морфометричні відмінності між *P. pallasiana* різними ділянками Першотравневого залізорудного відвалу і двох згарищ на плато Нікіта були вивчені на семирічних рослинах (табл. 5.5). Самосів на згарищах був на 35,8–42,1% меншим у висоту, ніж на залізорудному відвалі. Довжина 1–4-річних бічних пагонів у рослин на відвалі була, за винятком одного випадку, більша, ніж на згарищі. Особливо значними були відмінності у рослин, що порівнювалися, в довжині 2-3-річних бічних пагонів. У семирічному самосіві на згарищі вони були меншими відповідно на 50–60,5 % і 19–50,2% в порівнянні з рослинами того ж віку на залізорудному відвалі. Довжина хвої рослин на згарищі була меншою від однорічної на 24,8–36,6%, дворічної – на 1,5–28,3%, трирічної – на 28,5–43,3% і чотирирічної – на 24–34,7 %, ніж у рослин на відвалі.

Охвоєність довших бічних пагонів семирічних рослин *P. pallasiana* на залізорудному відвалі була більша, ніж у коротких пагонів рослин на згарищах (табл. 5.6).

Таблиця 5.5

Морфометричні характеристики семирічного самосіву *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі та на згарищах у Гірському Криму

Місце розташування деревостану	Висота дерева, м	Довжина бічних пагонів, см				Довжина хвої, см			
		1-річного	2-річного	3-річного	4-річного	1-річної	2-річної	3-річної	4-річної
Першотравневий залізорудний відвал									
Південно-східний бік: берма I	1,9±0,1	24,6±0,9	27,2±1,1	23,8±1,0	14,7±1,3	9,2±0,1	12,5±0,1	9,3±0,1	12,0±0,1
Схил між бермами I-II	1,8±0,0	21,2±0,8	28,0±1,1	22,1±0,7	0,0	8,3±0,1	9,9±12,0	8,7±0,1	0,0
Схил між бермами II-III	1,9±0,1	29,5±0,8	27,6±1,0	22,9±1,0	17,7±1,6	9,2±0,1	12,7±0,1	10,3±0,1	10,3±0,4
Берма II	1,9±0,1	22,8±0,9	25,2±1,2	18,8±0,9	17,7±1,6	9,4±0,1	11,0±0,1	9,8±0,1	10,3±0,5
Західний схил між бермами II-III	1,9±0,1	24,4±1,2	26,6±1,2	23,4±1,3	16,5±2,9	8,6±0,1	11,5±0,1	10,3±0,1	11,7±0,3
Плато Нікіта в Гірському Криму									
Ділянка 350 м н.у.м.	1,1±0,0	21,5±1,4	12,6±0,7	15,2±0,8	12,3±1,0	6,2±0,4	9,1±0,4	5,8±0,3	7,8±0,8
Ділянка 450 м н.у.м.	1,2±0,1	19,4±1,0	11,1±0,9	11,9±0,9	13,2±0,8	6,0±0,2	9,8±0,4	6,2±0,2	7,8±0,8

Таблиця 5.6.

Кількість пар хвої на бічних пагонах семирічного самосіву *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі і на згарищах у Гірському Криму

Ділянка відвалу	Кількість пар хвої, шт							
	на пагоні				на 1 см пагону			
	1-річному	2-річному	3-річному	4-річному	1-річного	2-річного	3-річного	4-річного
Першотравневий залізорудний відвал								
Південно-східний бік: берма I	186,7±9,4	182,5±11,1	163,5±9,0	29,2±6,7	7,6±0,2	6,6±0,2	6,8±0,2	1,8±0,3
Схил між бермами I-II	169,1±5,1	188,6±5,4	139,1±8,7	0,0	8,2±0,2	6,9±0,2	6,2±0,4	0,0
Схил між бермами II-III	233,3±7,7	206,2±7,1	144,8±8,4	54,1±10,3	8,0±0,2	7,5±0,2	6,4±0,2	2,9±0,7
Берма II	177,0±9,3	196,5±10,1	111,3±10,8	54,1±10,4	7,8±0,06	7,8±0,2	5,5±0,6	2,9±0,7
Західний схил між бермами II-III	192,3±9,0	197,3±9,2	166,5±14,7	48,4±11,9	8,0±0,2	7,5±0,2	6,9±0,3	3,2±0,4
Плато Нікіта в Гірському Криму								
Ділянка 350 м н.р.м.	160,6±10,1	99,6±4,8	81,4±7,9	30,9±8,4	7,6±0,4	8,3±0,4	5,5±0,5	2,0±0,9
Ділянка 450 м н.р.м.	154,6±8,2	87,5±9,7	55,2±5,4	30,9±8,4	8,1±0,3	8,2±0,4	4,9±0,5	2,0±0,9

Однак, за відотною охвоєністю (кількість пар хвоїнок на 1 см пагону) однорічні пагони рослин природного та інтродукційного ареалів мало відрізнялися; дворічні пагони рослин згарищ мали на 4,5–25 % вищі значення показника. У трьох- і чотирирічних бічних пагонів рослин на згарищах кількість пар хвоїнок на 1 см їх довжини були відповідно на 0,5–28,8% і до 37,5% менше відносно рослин на відвалі. В цілому це свідчить, що старша хвоя краще зберігається у молодих рослин на породному відвалі, ніж на згарищах у природному ареалі.

Маса довгої хвої рослин на відвалах була помітно більшою, ніж у рослин згарищ. Так, наприклад, сира маса 1–4-річної хвої у рослин із згарищ була меншою в порівнянні з рослинами окремих ділянок відвалу на 50,6–63,7 %. Значними були відмінності і в сухій масі хвої у рослин порівнюваних районів зростання *P. pallasiana*. У рослин на згарищах суха маса хвої різного віку нерідко не досягала половини від маси хвої рослин на відвалах (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Маса хвої на бічних пагонах семирічного самосіву *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі та на згарищах в Гірському Криму

Ділянка відвалу	Маса хвої (10 пар), г							
	сира				суха			
	1-річн.	2-річн.	3-річн.	4-річн.	1-річн.	2-річн.	3-річн.	4-річн.
Першотравневий відвал								
Південно-східний бік: берма I	1,21±0,06	2,12±0,1	1,32±0,05	2,02±0,11	0,71±0,04	1,21±0,06	0,74±0,03	1,22±0,07
Берма II	1,12±0,05	1,61±0,05	1,21±0,05	0,0	0,82±0,05	1,02±0,04	0,85±0,04	0,0
Берма III	1,41±0,05	2,22±0,07	1,52±0,07	1,62±0,20	1,13±0,06	1,73±0,07	1,13±0,05	1,23±0,2
Берма II	1,62±0,06	1,93±0,08	1,52±0,07	1,63±0,22	0,92±0,04	1,22±0,07	1,02±0,08	1,23±0,2
Західний схил берми III	1,31±0,08	2,18±0,09	1,61±0,05	2,02±0,31	0,94±0,08	1,4±0,08	1,03±0,06	1,21±0,2
Плато Нікіта в Гірському Криму								
Ділянка 350 м н.р.м.	0,79±0,09	1,25±0,09	0,7±0,08	0,91±0,17	0,47±0,05	0,72±0,05	0,45±0,04	0,66±0,14
Ділянка 450 м н.р.м.	0,58±0,04	1,07±0,05	0,65±0,06	0,92±0,24	0,38±0,02	0,74±0,03	0,69±0,23	0,66±0,14

У рослин обох регіонів довжина хвої тісно корелює з її масою ($r = 0,63-0,94$), а довжина бічних пагонів 3-річного віку – з кількістю пар хвоїнок на них ($r = 0,54-0,79$).

Перші жіночі шишки у *P. pallasiana* на відвалі, за даними наших трирічних спостережень, з'являються у 7–8-річних рослин, а на згарищах – в 13–14 років. Кількість молодих рослин, що вступають в репродуктивну фазу розвитку на відвалах, на порядок більше, ніж на згарищах, що є відповідною реакцією рослин на екстремальні умови відвалу [158].

З досягненням 7–10-річного віку самосівні рослини також стають джерелом насіння. Значно частіше на відвалах відбувається анемохорне, ніж гідрохорне поширення насіння *P. pallasiana*.

Феномен відновлення *P. pallasiana* на породних відвалах можна пояснити реалізацією преадаптивних властивостей виду, що забезпечує виживання, зростання і розвиток самосіву на сухих, низьковологоємних, бідних на елементи мінерального живлення щебенево-гравійних і суглинистих субстратах із низьким вмістом органіки. В умовах залізорудних відвалів з усією очевидністю реалізуються піонерно-експлерентні властивості *P. pallasiana* – активне заняття відкритих, багатих освітленням територій, дальній разліт насіння навколо первинних насаджень і в результаті – широке розселення, глибоке вкорінення самосіву, більш швидке його зростання і більш ранній початок репродуктивної фази розвитку, ніж на відкритих згарищах в Криму. І це при тому, що на відвалах в літній період рослини відчують гострий дефіцит вологи, малоімовірний її капілярний підйом з нижніх горизонтів породи і дуже слабкий захист породи від перегріву в спекотні літні дні через невиразність або відсутність трав'яного покриву.

Континентальність клімату і нестача вологи лімітують розвиток біологічних процесів у степовій зоні, що проявляється в різкому зменшенні кількості біомаси, яка продукується фітоценозами в цій зоні в порівнянні з

лісостеповою зоною лісів. Значне перевищення випаровуваності над кількістю опадів, обумовлює своєрідність біологічного кругообігу речовин в степовій зоні. Недолік ґрунтової вологи обмежує розчинність у воді поживних речовин, а значить, і їх транспорт в надземні органи рослин. При всіх цих природних умовах, більш явних несприятливих на залізорудних відвалах Криворіжжя, *P. pallasiana* успішно зростає на них, розселяється і на ранніх стадіях онтогенезу за своїми морфометричними параметрами перевищує самосів на згарищах в природних популяціях цього виду. Молоді рослини *P. pallasiana* на залізорудних відвалах Криворіжжя (табл. 5.8) вступають в репродуктивну фазу розвитку на 3–5 років раніше, ніж самосів, що розвивається на згарищах в природній популяції цього виду в Гірському Криму. На відвалах Криворіжжя зустрічаються окремі молоді рослини, у яких жіночі шишки формуються на сьомому році життя.

Незважаючи на більший середній вік насіннєносних молодих рослин згарищ, їх відмінності в висоті в порівнянні з рослинами відвалів не такі істотні. Шишки рослин відвалів характеризуються меншою довжиною, кількістю всього і повнозернистого насіння в порівнянні з рослинами на згарищах. В цілому, лінійні розміри шишок у молодих рослин відвалу і згарищ відповідають розмірам шишок в молодих насадженнях в районі Алушти (згідно з опублікованими даними) [91]. Середня кількість повного насіння в шишках рослин обох локалітетів менша, ніж у старо-, середньовікових рослин природних популяцій і молодих насаджень *P. pallasiana* в Гірському Криму.

У молодих насадженнях насіння в шишках було 50,4–55,1 шт. [91]. Отже, насіннева продуктивність рослин *P. pallasiana*, що вступають в репродуктивну фазу розвитку, як на згарищах в Гірському Криму, так і на залізорудному відвалі Криворіжжя, низька. Хоча це може бути спричинено і періодичністю насіннєношення цього виду.

Таблиця 5.8

Мінливість морфометрії, кількості насіння шишок молодих рослин *P. pallasianana* на згарищах в Гірському Криму і самосівних деревостанах на Першотравневому відвалі Криворіжжя

Статистичні показники	Вік рослин, років	Висота рослин, см	Розміри шишок, см		Кількість повномірного насіння в одній шишці, шт.		Довжина, см	
			довжина	товщина	загальна	повних	крила насіння	насінини
Самовідновлення на згарищах (Гірський Крим)								
M±m	13,25±0,6	296,50±17,31	6,17±0,55	2,65±0,04	30,37±1,55	24,63±1,17	1,57±0,02	0,57±0,01
CV, %	20,6	26,1	111,6	17,5	64,2	60,0	18,6	16,7
Самовідновлення на Першотравневому відвалі								
M±m	9,42±0,23	241,67±12,42	5,25±0,05	2,89±0,03	19,40±1,19	17,01±1,10	1,53±0,02	0,55±0,04
CV, %	11,7	25,2	10,8	9,9	66,7	69,9	17,5	79,0

5.3. Самовідновлення *Pinus sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя

Широкоареальний вид *Pinus sylvestris* і, особливо, вузькоареальний *P. pallasiana* проявляють високу стрес-толерантність до умов середовища існування на залізорудних відвалах Криворіжжя. Види деревних рослин, що здатні до самовідновлення, в техногенних і урбанізованих ландшафтах слід розглядати як найбільш цінні особливо в степовій зоні, де на міські насадження і насадження зелених зон помітно збільшився прямий антропогенний вплив і опосередкований – через забруднення навколишнього середовища [104]. Очевидно, що рослини *P. sylvestris*, як і *P. pallasiana*, віддають перевагу відкритому простору з еродованим мінеральним субстратом, володіючи пейноморфізмом – здатністю переносити дефіцит елементів мінерального живлення, проявляючи при цьому високу посухо- та жаростійкість [159]. Однак для *P. pallasiana* розширення свого природного ареалу в Криму цих екологічних якостей недостатньо. Причина цього, очевидно, пов'язана з фітоценотичною патіентністю цього виду – нездатністю проникати в існуючі фітоценози і домінувати в них.

Дослідження природного відновлення *P. sylvestris* проводили на двох відвалах Першотравневого кар'єру, відсіпка породи на яких завершена більше 20 років тому. На схилах цих відвалів в кінці 70 і на початку 80-х років ХХ століття висаджувалися сіянці *P. sylvestris*. До теперішнього часу на цих відвалах збереглися три нечисленні групи рослин, які вступили в репродуктивну фазу розвитку більше 10 років тому (табл. 5.9). Навколо цих трьох груп *P. sylvestris* відзначено насіннєве відновлення. На Першотравневому відвалі, що займає площу близько 44 га, виявлено найбільший за площею (3440 м²) мікросайт (контур, який окреслює мікропопуляцію) із самосіву *P. sylvestris*, що сформувався навколо насадження в 25 особин. Площа мікросайту в 27,5 разів більша, ніж площа, зайнята материнськими деревами. Однак щільність самосівних рослин у

двох мікросайтах в південно-східній частині цього відвалу невисока – 5-5,4 особи на 100 м². Помітно вища чисельність самосіву *P. sylvestris* виявлена у мікросайті на західному схилі Автовідвалу – 26,7 особин на 100 м². Ймовірно, топологічне розташування рослин на схилах залізорудних відвалів впливає на інтенсивність насінневого відновлення *P. sylvestris*.

Таблиця 5.9

Топологічні та кількісні характеристики насаджень *P. sylvestris* та сформованих навколо них мікропопуляцій на двох відвалах

Першотравневого кар'єру, 2005 р.

Місце розташування рослин на відвалі	Кількість рослин, шт.		Зайнята площа, м ²		Частка плодоносних материнських рослин в насадженні, %
	материн- ських	самосіву на 100 м ²	материн- ськими рослинами	самосівом	
Першотравневий відвал: берма I, пд-сх. частина	25	5,4	125	3440	90
Першотравневий відвал: берма II, пд.-сх. схил	4	5	20	120	100
Автовідвал: зах. схил	10	26,7	50	620	100

У двох досліджуваних мікросайтах *P. sylvestris* виявлені рослини 2–11-річного віку (табл. 5.10). Відсутність в цих мікросайтах однорічних сіянців, мабуть, пов'язана з їх загибеллю на початку вегетації через надзвичайно спекотний і посушливий період у травні 2005 року.

Слід зазначити, що навколо найбільшого насадження на Першотравневому відвалі сформувався мікросайт з 184 молодих рослин, що становить 7,4 сіянців на одне материнське дерево. На Автовідвалі 10 материнських дерев *P. sylvestris* дали насінневе відновлення в 157 молодих рослин. На цьому відвалі показник кількості самосіву на одне материнське дерево є більшим, ніж у 2 рази.

Таблиця 5.10

Віковий склад самосіву *P. sylvestris* на двох відвалах

Першотравневого кар'єру, 2005 р.

Місце розташування рослин на відвалах	Вік, років									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Кількість рослин, шт									
Першотравневий відвал: берма I, пд-сх. частина	28	56	26	34	10	7	7	12	4	—
Першотравневий відвал: берма II, пд.-сх. схил	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
Автовідвал: зах. схил	2	12	36	68	20	5	4	5	4	1
Всього одновікових сіянців	30	68	62	102	36	12	11	17	8	1

У перші роки від початку самовідновлення загальна кількість самосіву на відвалах становила 49 рослин, а в наступні шість років (після 2005 р.) – 292 рослини, що в 6 разів більше. Це пояснюється невисокою насінневою продуктивністю розвитку молодих материнських дерев, що вступають в репродуктивну фазу

За показниками росту і розвитку самосів *P. sylvestris* на залізорудних відвалах Криворіжжя не має ознак пригнічення. До 9–10-річного віку висота сіянців складає 2,21–2,75 м, а діаметр стовбура біля кореневої шийки 3,1–5,1 см (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Морфометричні характеристики різновікового самосіву *P. sylvestris* в колоніях на двох відвалах Першотравневого рудника Кривому Розі, 2005

Місце розташування рослин на відвалі	Вік, років	Висота, см	Діаметр стовбура, біля кореневої шийки, см	Річний приріст, см	
				осьовий	бічних пагонів
1	2	3	4	5	6
Відвал-1: берма I, пд-сх. частина	2	6,8±0,1	0,1±0,1	3,0±0,3	0,7±0,2
	3	20,0±0,1	0,3±0,1	7,8±0,8	4,0±0,6
	4	45,0±0,1	0,8±0,1	11,2±3,6	8,6±3,1
	5	89,0±0,1	1,5±0,1	26,8±2,7	19,8±2,5
	6	107,0±0,1	2,0±0,4	25,5±4,1	17,7±3,0
	7	163,0±0,2	2,9±0,7	40,2±6,5	28,0±5,9
	8	193,0±0,1	3,7±0,2	37,2±3,4	25,3±3,3
	9	221,0±0,2	3,6±0,2	40,0±5,6	23,6±3,0

Продовження таблиці 5.11

1	2	3	4	5	6
	10	275,0±0,6	5,1±0,6	42,0±12,0	27,0±11,0
Відвал -1: берма II пд -сх. схил	6	132,0±0,4	3,6±1,1	26,1±6,7	15,8±0,9
Відвал - 2: зах. схил, нижня частина схилу	2	10,0±0,1	0,3±0,1	4,7±0,1	---
	3	32,0±0,1	0,5±0,1	10,4±2,1	---
	4	62,0±3,4	1,2±0,2	26,4±3,3	14,0±1,2
	5	73,0±0,1	1,5±0,1	29,3±2,5	14,0±0,7
	6	97,0±0,1	1,6±0,2	34,7±2,8	15,9±1,2
	9	260,0	3,4	50,0	32,0
Відвал -2: зах. схил, верхня частина схилу	2	12,0±0,1	0,2±0,1	3,4±1,2	---
	3	28,0±0,1	0,5±0,1	6,3±0,6	---
	4	35,0±0,1	0,7±0,1	12,9±1,3	9,0±1,0
	5	41,0±0,1	0,8±0,1	13,5±1,5	8,6±0,9
	6	73,0±0,1	1,6±0,2	24,3±2,8	15,2±1,6
	7	87,0±0,1	1,8±0,1	24,0±2,2	---
	9	138,0±0,4	2,4±0,5	25,5±6,6	19,8±6,5
	10	254,0±0,4	3,1±0,5	37,5±3,1	21,0±1,6

Кращими показниками росту характеризувалися сіянці на першому відвалі, у яких річний приріст осьового пагону досягав 42 см, а бічних пагонів – 28 см. Добре відновлення і зростання сіянців у наступні роки може привести до формування зімкнутих деревостанів *P. sylvestris*. У 7–8-річному віці сіянці вступають в репродуктивну фазу розвитку і, швидше за все, вносять певний внесок в саморозселення *P. sylvestris*. Це можна класифікувати як перший етап формування повноцінних інтродукційних «острівних» популяцій *P. sylvestris* на залізородних відвалах.

Особливо слід звернути увагу на те, що розселення *P. sylvestris* відбувається, як правило, на відкритих ділянках залізородних відвалів, де покрив із трав'янистої рослинності ще не встиг сформуватися (рис. 5.5).

Це дає підставу вважати, що слабке відновлення *P. sylvestris* в природних популяціях і особливо штучних насадженнях в степовій зоні України лімітується не стільки едафічними і кліматичними факторами як фітоценотичним оточенням. Очевидно, сходи *P. sylvestris* не здатні конкурувати за життєвий простір у степових фітоценозах. Штучне вилучення

фактора конкуренції на породних відвалах Криворіжжя сприяє саморозселенню цього виду.



Рис. 5.5. Вікова динаміка природного відновлення *Pinus sylvestris* L. на залізорудних відвалах Криворіжжя

Слід зазначити високу стійкість *P. sylvestris* в умовах зростання на залізорудному відвалі. Так, на Автовідвалі паралельно з цим видом були проведені посадки *Populus deltoides* Marsh. біля основи відвалу і на його схилах в місцях нинішнього самостійного розселення *P. sylvestris*. На даний час переважна більшість рослин *P. deltoides* на західному схилі другого відвалу є субсенільними кущоподібними формами. За результатами досліджень І.І. Коршикова на верхній частині схилу середня висота цих кущистих форм становить $1,08 \pm 0,23$ м, а діаметр крони – $0,94 \pm 0,14$ м; в нижній частині схилу відповідно: $1,70 \pm 0,03$ м і $1,66 \pm 0,16$ м. Зростаючі біля основи відвалу дерева *P. deltoides* мають висоту $11,0 \pm 0,17$ м і діаметр крони

1,69 ± 0, 16 м. І це при тому, що цей вид вважається одним з найбільш стійких до впливу викидів різних промислових підприємств степової зони України [84].

Вважається, що види-інтродуценти, які розселяються самосівом, володіють і вищим «ступенем приживлення» і «високою життєвістю» [32]. Серед деревних рослин в інтродукційних насадженнях степової зони України таких видів вкрай мало.

На перших етапах розселення деревних рослин на відвалах визначними є умови екотопу. Більш сприятливі екологічні умови створюються в різних ямах, щілинах і пониззях, куди змивається дощами і талими водами дрібнозем. У невеликих ямах площею до 10 м² може одночасно зростати до 5–7 рослин 10–20-річного віку різних видів. Найчастіше зустрічаються в таких угрупованнях *P. sylvestris*, *P. pallasiana*, *Populus italica*, *Betula pendula*. У міру збільшення розмірів дерев в різних деревостанах на відвалах підвищується їх компактність, вирівнюються і стають більш раціональними умови в межах всього насадження. Очевидно, що на різних стадіях розвитку деревостанів на відвалах несприятливий вплив екологічних факторів екотопу згладжується оптимізуючим впливом біотопу. Це можна розглядати як явище самосприятливості, оскільки під пологом дерев в літню пору знижується температура і підвищується вологість повітря, зменшуються їх коливання; накопичення підстилки прискорює ґрунтоутворювальні процеси, збагачує ґрунт органікою і перешкоджає його перегріву в спеку.

Висновки по розділу:

1. На відміну від незадовільного відновлення *P. pallasiana* в природних популяціях Криму і *P. sylvestris* у штучних лісонасадженнях Степової зони, на залізрудних відвалах відбувається щорічне насіннєве відновлення обох видів. Насіннєве відновлення сосен відбувається як на пухких субстратах (пісок, суглинки, глини), так і на кварцитовій відсипці з

уламками породи розміром від 0,3–10 мм до 3–5 см, а також у щілинах між великим камінням.

2. Молоді рослини *P. pallasiana* на залізорудному відвалі Криворіжжя відрізнялися кращим зростом, ніж рослини такого ж віку на згарищах в Криму. Десятирічні рослини самосіву на відвалі були на 94 см вище, а діаметр стовбура – на 2,5 см більше, ніж у рослин на кримських згарищах. Площі осередків природного розселення *P. pallasiana* на Першотравневому відвалі у 2,4–21,5 рази більші, ніж площі материнських насаджень. Висока щільність самосіву *P. pallasiana* відзначена на відкритих ділянках відвалу, слабо колонізованих трав'янистою рослинністю.

3. На двох залізорудних відвалах, де поширені деревостани з *P. sylvestris*, у перші роки від початку самовідновлення загальна кількість самосіву становила 49 рослин, а в 2010 році – 292 рослини. За показниками росту і розвитку самосів *P. sylvestris* на відвалах Криворіжжя не має ознак пригнічення. До 9–10-річного віку висота сіянців складає 2,21–2,75 м, а діаметр стовбура біля кореневої шийки 3,1–5,1 см. Наразі самосів складається з 1–20-річних рослин. Чисельність 7–20-річних рослин, які формують врожай шишок, становить 30–50 особин на 1 га.

РОЗДІЛ 6

ФІТОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛІВ ДО БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ

Залізорудні відвали Криворіжжя, як уже неодноразово підкреслювалося, дуже гетерогенні за цими умовами, як і лісонасадження на різних їх ділянках за походженням, складом видів, життєвим станом і віком. Ці обставини необхідно враховувати при визначенні лісопридатності як цілого відвалу, так і його окремих ділянок, а також при розробці стратегії і конкретних планів рекультивації відвалу.

Попередню оцінку лісопридатності відвалу для рекультивації можна отримати з нині доступної для широкого користування космічної фотозйомки. Однак це не звільняє від рекогносцирувальних натурних обстежень існуючих насаджень на відвалах з використанням польових пробних ділянок. При цьому слід враховувати осередки водної ерозії і планувати правильне розміщення, склад і структуру майбутніх лісонасаджень, що запобігають наявності цих процесів.

Придатність розкритих порід промислових відвалів для біологічної рекультивації встановлюють на основі лабораторних аналізів фізичних і хімічних властивостей породи, в польових дослідках – за допомогою вирощування рослин на породі відвалів і спостереженням за ходом природного заростання відвалів.

Для оцінки придатності порід до біологічної рекультивації пропонується дослідження наступних параметрів: мінералогічний і гранулометричний склад, питома і об'ємна вага, пористість, пластичність, набухання, зжатість, фракційний склад, рН водної хлорокалієвої витяжки, ємність поглинання, гідрологічна кислотність, вміст азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію, сполук сірки, мікроелементів, обмінного кальцію і заліза [156]. До цієї оцінки також входять випробування придатності породи для рослин, що проводяться в вегетаційних дослідках [161, 229, 230]. Поверхню

відвалів характеризують за ступенем кам'янистості, визначаючи відсотковий вміст великоуламкових брил, валунів, фрагментів сланців, піщаників, вапняків, а також механічного складу м'яких і пухких порід за трьома градаціях: пісок, суглинок, глина. Важливою є також топографія відвалу і форми рельєфу: хребет, схили, основа, берми, розрівненість території. Все це доповнюється описом характеру ерозії і зсувів на відвалах [211].

Істотним лімітуючим фактором, крім низького вмісту в породі доступних елементів мінерального живлення, органіки, наявності високотоксичних сполук, є дефіцит вологи на відвалах, низька вологоємність і вологоутримуюча здатність породи. До того ж, в літні місяці поверхня відвалів може прогріватися до 60 °С і вище, а взимку промерзати на значну глибину. У степовій зоні на породних відвалах домінують сухі місця існування, які є повсюди на схилах, розрівнених ділянках і плоских вершинах.

На відвалах можуть бути різні місця існування в залежності від хімічного складу породи. Згідно з раніше розробленою класифікацією, виділяють такі ділянки: токсичні (рН водної витяжки нижче 4), кислі (рН – 4-6,9), лужні (7,0 і вище). На Україні лісопридатність відвалів оцінюють за родючістю (трофотопу) і зволоженням ґрунту (гігротопах).

До непридатних для лісової рекультивації відносяться місця існування на відвалах, що містять фітотоксичні засолені або кислі породи: лесоподібні суглинки, четвертинна червоно-бура глина, зеленувато-сіра мергеляста сарматська глина, чорна шарувата сарматська глина та ін.

У Росії в Інституті ґрунтознавства ім. В.В. Докучаєва досліджувалися властивості розкритих порід залізорудних кар'єрів Курської магнітної аномалії, Соколовсько-Сарбайського кар'єру, вугільних і марганцеворудних кар'єрів України та ін. [34]. При цьому було вирішене завдання розробки єдиних критеріїв оцінки властивостей гірських порід і створення універсальної схеми їх класифікації. Ця єдина для країн СНД класифікація була розроблена Всесоюзним НДІ природи сумісно з Головним Інститутом

проектування. При цьому всі породи поділяються на 3 основні групи за ступенем придатності для біологічного освоєння: придатні, малопридатні та непридатні. Група придатних порід включає родючий шар ґрунту і підгрупу потенційно родючих порід – розмелені гірські породи, сприятливі для рослин за фізичними властивостями та хімічним складом. Група малопридатних порід представлена трьома, а група непридатних порід – двома підгрупами. Породам кожної з семи виділених підгруп дається коротка інженерно-геологічна характеристика. Ступінь придатності породи визначається на основі оцінки найбільш істотних і разом із тим простих у визначенні показників хімічного та гранулометричного складу. Ця активна реакція (рН водн.), сума токсичних солей, вміст гіпсу і карбонатів, кількість рухомого алюмінію, ступінь солонцюватості порід (кількість Na, % від об'ємного вбирання), вміст гумусу та фізичної глини [37].

Непридатні або розкривні гірські породи, що потребують докорінного поліпшення промислових відвалів містять, як правило, значну кількість піриту, гетиту, галіту, сульфідів, високодисперсних глинистих мінералів [35]. Практичний досвід рекультивації показує, що при наявності великої кількості фітотоксичних порід необхідно застосовувати селективний спосіб формування відвалу, укладаючи в нижні його верстви токсичну породу і перекриваючи її розкривними породами з більш сприятливими для рослин властивостями. Суміш різних розкривних порід на вже відсипаних відвалах зазвичай називають «ґрунтосумішами» [53].

Верхній горизонт відвалів в результаті фізико-хімічного вивітрювання і життєдіяльності рослин збагачується мілкоземом, який з дрібних форм рельєфу змивається дощовими і талими водами в замкнуті пониження, поглиблення, виїмки тощо. Цей природний процес мозаїчно диференціює поверхню відвалу з екологічною різноякісністю, обумовлюючи в подальшому асинхронність сингенетичних сукцесій фітоценозів і етапів ґрунтоутворювального процесу. Виположування, вирівнювання і терасування схилів відвалів здавалося б вирівнює екологічну різноякісність їх поверхні, а

насправді руйнує природні мозаїчні процеси формування локальних сприятливих умов для поселення рослин і подальшого заростання відвалу [148].

Розкривні породи, що пройшли етап техногенної дезінтеграції в ході буропідривних і екскаваційних робіт, потрапляючи в відвали, піддаються впливу температури, води і вітру, що активізує процеси їх фізико-хімічного вивітрювання. Так як процеси вивітрювання на різних ділянках відвалів протікають з однаковою інтенсивністю, то основа відвалу і його поверхня гетерогенні за гранулометричним і механічним складом. Укоси відвалів різної експозиції помітно відрізняються за інтенсивністю надходження сонячної енергії та вологи. Більш оптимальні поєднання гідротермічних умов властиві північним і східним схилах відвалів.

Спостерігаючи за динамікою формування рослинного покриву на промислових відвалах в залежності від едафічних, гідротермічних, геоморфологічних умов, механічного складу породи, можна навіть візуально оцінити в цілому відвал і окремі його ділянки для придатності до біологічної рекультивації. В якості індикаторів едафотопу можуть бути використані як окремі рослини, так і їх куртини і насадження [52, 181]. Вивчення процесів природного заростання відвалів дозволяє відбирати найбільш придатні для їх рекультивації види рослин без технічного етапу і, відповідно, нанесення ґрунтового шару. Досвід посадок деревних рослин на відвалах і вивчення процесів їх природного заростання свідчать, що суворой приуроченості окремих видів до певних гірських порід або їх сумішей на відвалах не існує. Хоча на одних і тих же породах зростання і розвиток різних видів деревно-чагарникових рослин істотно відрізняються [157].

Екологічні умови життя деревних рослин на плоских відвалах погіршуються в міру збільшення висоти. Самозаростання промислових відвалів, як правило, починається з їх основи на схилах і бермах. Перші деревні рослини оселяються в мікропониженнях, ямах, місцях осідання породи, куди змивається мілкозем з підвищень, де накопичуються рослинні

залишки. З цієї причини ретельне вирівнювання відносно плоских промислових відвалів в лісовій зоні Уралу вважалося недоцільним. На неvirівняних породних буровугільних відвалах Уралу поблизу насінників деревних рослин природним шляхом поселяється до 30–40 тис/га життєздатних сіянців. Найкраще заростали відвали, оточені щільно розміщеними лісовими масивами. Хвойні, включаючи *P. sylvestris*, на цих відвалах з'являлися на 2-3-й рік після завершення відсипання породи. На території Свердловської області 4/5 промислових відвалів різного виробництва рекомендовані для самозаростання деревними рослинами. В середньому на цих відвалах відзначено до 10 тис. шт/га життєздатних сходів деревних рослин, які через 20 років можуть сформувати зімкнутий деревостан з покриттям кронами до 0,8 і більше [107, 108].

В роботі Л.П. Баранник [8] наводиться біологічна характеристика (в балах) за такими показниками як морозо- і посухостійкість, світлолюбність, вимогливість до родючості ґрунту, енергія росту, корисність і меліоративні властивості рослин 34 видів 14 родин деревно-чагарникових порід, які протягом двох років випробовувалися на відвалах вугільних розрізів Кузбасу. З цих видів 25 були місцевої флори, а 9 – інтродуцентів. У результаті випробувань нечисленних лісокультур цих видів, що висаджуються 3–4-річними саджанцями, були виділені за придатністю для лісової рекультивації:

а) безперечно придатні – добре приживаються, приріст рослин в багатьох місцях розташування на відвалах відносно приросту рослин на зональних ґрунтах (8 видів, всі місцевої флори);

б) обмежено придатні – вимагають підвищення вологості або родючості відвальних ґрунтів для нормального зростання рослин (8 видів місцевої флори і 5 інтродукованих);

в) мало або сумнівно придатні – погано приживаються і мають низький приріст (5 місцевих видів і 4 інтродукованих).

На залізорудних відвалах Криворіжжя піонерні і вже сформовані стійкі фітоценози розташовані мозаїчно, не утворюючи зімкнутого рослинного покриву, що природно сприяє диференціації поверхні відвалів за інтенсивністю ґрунтоутворюючих процесів.

Висока гетерогенність і контрастність едафотопів по периметру і вертикальному профілю залізорудних відвалів Криворіжжя вимагає розробки методичних основ диференційованої їх оцінки для лісової рекультивації як в цілому для конкретного відвалу, так і окремих його ділянок. При обстеженні залізорудних відвалів необхідно з'ясувати, на яких його ділянках можливе поселення і активне поширення деревних рослин природним шляхом з формуванням локальних повноцінних лісових угруповань без будь-якої додаткової участі з боку рекультиватора, на яких ділянках необхідне помірне сприяння інтенсифікації процесу заростання і де слід проводити активну лісову рекультивацію.

Незважаючи на різноманіття несприятливих едафічних факторів, з додаванням екстремальних кліматичних умов степової зони, на залізорудних відвалах Криворіжжя спонтанно поселяються трав'янисті і деревні рослини, внаслідок чого вони локально, мозаїчно покриваються рослинністю. Це можна застосувати для оцінки придатності едафотопів відвалів для лісової рекультивації, аналізуючи стан висаджених і заселених на них рослин.

Результати маршрутних рекогносцирувальних обстежень восьми відвалів Криворіжжя показали, що одні едафотопи є сприятливими, інші, навпаки, практично недоступні для заселення, зростання і розвитку рослин. Відсутність трав'янистих і деревних рослин на окремих ділянках відвалів можна пояснити несприятливими аеро- і гідрологічними режимами верхнього шару породи, її надмірною фітотоксичністю і високою рухливістю, а також великоуламковим механічним складом в окремих локалітетах. Ділянки, де практично повністю відсутні рослини, зустрічаються по схилах відвалів і на вивалах породи на плоскій вершині. Це невеликі за

площею ділянки, які відрізняються від інших, що їх оточують, за зовнішнім виглядом породи.

Загальне лісопокриття відвалів, а також і окремих їх ділянок дуже різне. Найменше воно на тих ділянках відвалів, де триває відсіпання породи. Безумовно, ці ділянки відвалів поки не підлягають оцінюванню на придатність для лісової рекультивації. Високе обліснення, що досягає 100% - го покриття, зустрічається вкрай рідко і приурочене до тих ділянок, де була проведена рекультивація найбільш стійкими видами рослин. Значно частіше на відвалах зустрічаються поодинокі рослини, їх групи з декількох особин одного, двох, трьох і вкрай рідко більшої кількості видів, а також їх куртин, що займають площу в кілька десятків, а іноді сотень м². На пологих схилах біля основи відвалів можуть навіть формуватися «острівці» з характерними ознаками лісових ценозів. Вони складаються з крупних особин, під пологом яких поселяються чагарники і формується стійкий злаково-різнотравний ценоз. Особливий інтерес представляють едафотопи, де відбувається природне відновлення видів, які потрапили сюди анемохорно або зоохорно. Такі ділянки досить часто зустрічаються на семи з восьми обстежених нами відвалах, які були відсутні вони лише в тих місцях, де був нанесений шар ґрунту і традиційно рядами по колу відвалу висаджена *Robinia pseudoacacia*. На цьому відвалі *R. pseudoacacia* формує життєву форму – багатостовбурове і куртиноутворююче дерево, а також багатостовбурний «торчок» і факультативний стланик. У проміжку між рядами *R. pseudoacacia* сформувався стійкий злаково-різнотравний ценоз, що, ймовірно, не сприяє спонтанному заселенню інших видів деревних рослин.

Попередньо фактичну лісопридатність окремих ділянок і в цілому відвалу також можна з'ясувати за допомогою аерокосмічної фотозйомки. Таку інформацію необхідно використовувати в якості «точки відліку». Більш точну оцінку ступеня придатності конкретних ділянок відвалів для лісової рекультивації можна отримати, якщо провести більш детальне дослідження рослинності з комплексом показників за запропонованою нами схемою.

Спочатку визначають окружність відвалу біля основи і виділяють за вертикальним профілем відвалу, в залежності від його розміру, 4–12 дослідних ділянок шириною 25–100 м, які повинні бути відносно рівномірно розподілені по периметру відвалу. При виділенні дослідних ділянок необхідно враховувати, що в посушливій степовій зоні лімітуючим фактором виживання рослин на протилежних за топографічним положенням ділянках відвалів може бути різна інтенсивність сонячного освітлення, яка призводить до перегріву верхнього шару породи на південних схилах в літню пору. Так як на високих відвалах буває до 3–4-х берм, то відповідно на одній дослідній ділянці вийде 6–8 облікових ділянок від основи до вершини відвалу. Всі дослідні ділянки і облікові майданчики повинні бути прив'язані до місцевості і закартографовані.

На облікових територіях кожної ділянки за вертикальним профілем відвалу спочатку визначають площу покриття деревними рослинами, їх видовий склад і походження – штучні посадки чи самовідновлені в результаті занесення насіння. Далі на облікових ділянках підраховують загальну кількість рослин кожного виду з диференціацією їх за віковим і життєвим станом. На ділянках спонтанного поселення рослин слід виділяти особини насіннєвого і вегетативного походження. У разі самовідновлення видів, як це нами описано для *P. pallasiana* і *P. sylvestris* на залізорудних відвалах, необхідно визначати площу розселення навколо насіннєносних дерев [27, 132]. Важливим критерієм лісопридатності ділянок є темпи і потужність розвитку рослин [216]. Відмінності за цими показниками життєвості рослин можна використовувати для оцінки сприятливості едафотопів, однак тільки для індикаторних або найбільш поширених на відвалах видів. При цьому необхідно враховувати різноманіття життєвих форм на різних ділянках відвалу. Треба відзначити, що питання поліваріантності (мультиваріантного) онтогенезу окремих видів багаторічних рослин успішно досліджують в їх природному середовищі існування і зовсім не враховують при аналізі життєвості рослин в умовах техногенних екотопів [29, 64]. А це дуже

важливий аспект для розуміння адаптивної стратегії виду в нетипових, екстремальних умовах існування.

Проведені дослідження деревних рослин за запропонованою схемою дозволяють класифікувати види за рівнем життєвості, виділяючи високий, середній і низький. Високим рівнем життєвості на відвалі характеризуються види рослин, які мають типову для них життєву форму, не пригнічені в розвитку, не мають явних ознак пошкодження гілок, крони і стовбура, їх листя зелене без очевидних симптомів розвитку хлорозу і некрозу. Такі види в умовах відвалів відрізняються тривалим онтогенезом, досягають репродуктивної фази розвитку і здатні формувати урожай повноцінного життєздатного насіння. Із вкрай обмеженої кількості таких видів найбільш високою життєвістю характеризуються ті, які здатні самовідновлення в умовах відвалів насіннєвим або вегетативним шляхом, постійно розміщуючись на нових ділянках відвалу. Середнім рівнем життєвості відзначаються види, здорові рослини яких на одному або різних ділянках відвалів зустрічаються рідше, ніж ослаблених та пошкоджених. У таких видів частіше зустрічаються пригнічені в зростанні і розвитку рослини з наявністю сухих і усихаючих гілок у верхній частині крони, для них характерна мілколистність, а самі листки хлорозні з ознаками розвитку некрозу. Як правило, такі рослини відрізняються нетривалим і часто незавершеним онтогенезом, не досягають репродуктивної фази розвитку і не здатні до вегетативного розмноження в умовах відвалів. Низьким рівнем життєвості в умовах відвалів характеризуються, як правило, мало представлені на відвалах види, окремі рослини яких збереглися в рідких насадженнях. Для таких видів характерні пошкоджені, сильно пошкоджені і відмираючі рослини, у яких нерідко відбувається всихання стовбура, що супроводжується розвитком прикореневого поросту.

При проведенні оцінки лісопокриття різних ділянок відвалу, враховуючи склад видів у різних угрупованнях, їх життєвий стан, колонізуючу активність видів за рахунок насіннєвого або вегетативного

відновлення в конкретних місцях, було виділено п'ять категорій едафотопів щодо придатності для лісової рекультивації: 1) непридатні, 2) малопридатні для озеленення (один стійкий вид), 3) придатні для найбільш життєздатних видів (2–3 стійких види), 4) придатні для озеленення (3–5 видів), 5) доступні для масового озеленення (більше 5 видів) (рис. 6.1).

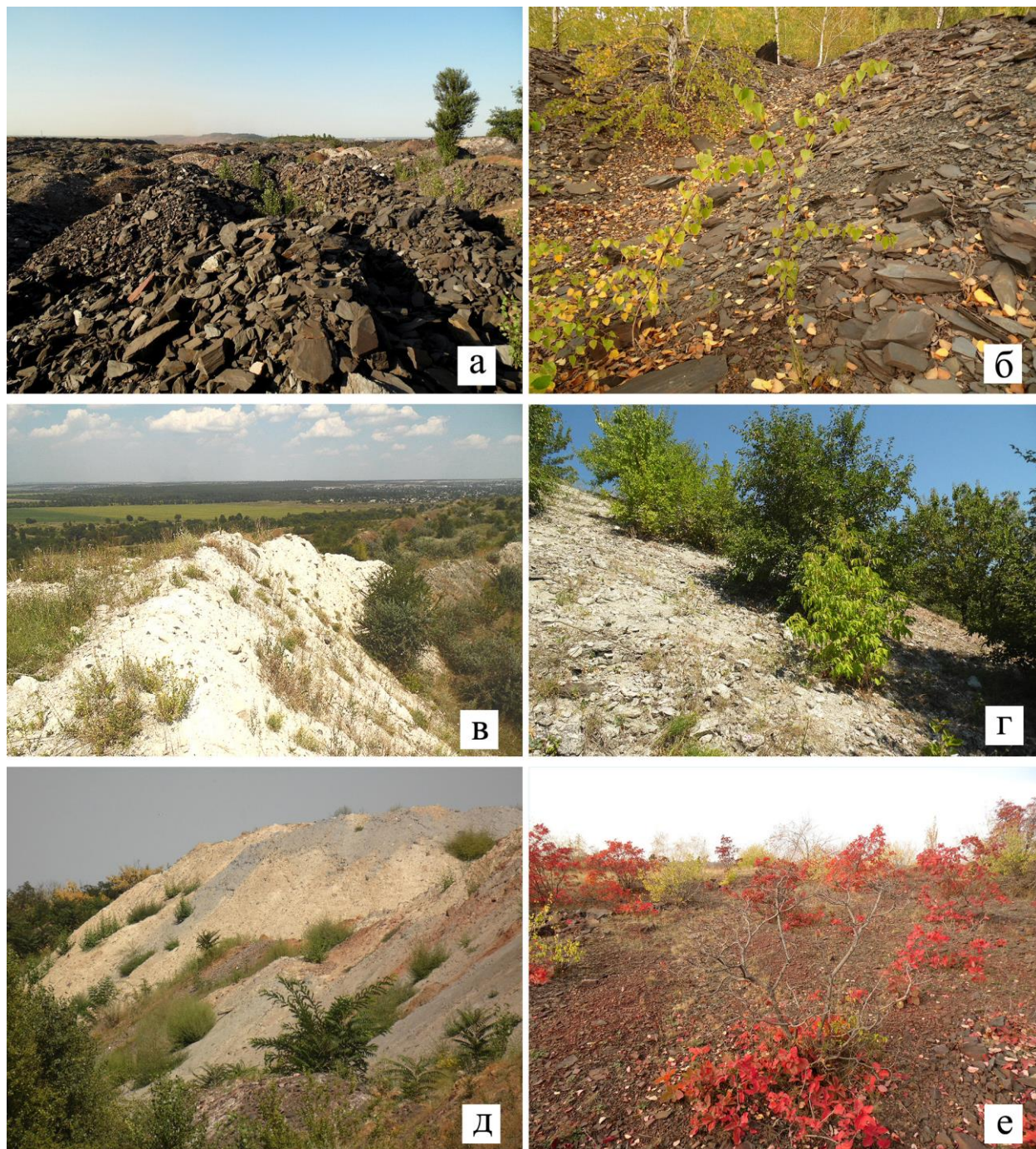


Рис. 6.1. Едафотопи різного ступеня лісопридатності на залізорудних відвалах Криворіжжя: а – малопридатний для озеленення (різномірні уламки кварцитів, заселення *Populus italica*); б – малопридатний для

озеленення (уламки сланців, заселення *Betula pendula*); в – малоприсадний для озеленення (дрібноуламкові вапняки, заселення *Elaeagnus angustifolia*); г – присадний для найбільш життєздатних видів (уламки плитчастих вапняків, заселення *Acer negundo*, *Armeniaca vulgaris*, *Padellus mahaleb*); д – присадний для найбільш життєздатних видів (карбонатні суглинки, заселення *Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*, *Ulmus minor*); е – присадний для озеленення (дрібні уламки залізистих кварцитів, заселення *Cotinus coggygria*, *Padellus mahaleb*, *Populus tremula*, *Betula pendula*)

Ці п'ять категорій лісоприсадності конкретних ділянок наносять на карту відвалу (рис. 6.2). Така реперна карта слугує інструкцією для практичних рішень у використанні різних видів деревних рослин для озеленення окремих ділянок відвалів. Скласти таку карту можна для «молодих» відвалів або їх окремих частин, де відсіпка породи припинена не менше, ніж 5–7 років тому. У цей період активно відбувається колонізація відвалів за рахунок занесеного насіння з прилеглих насаджень.

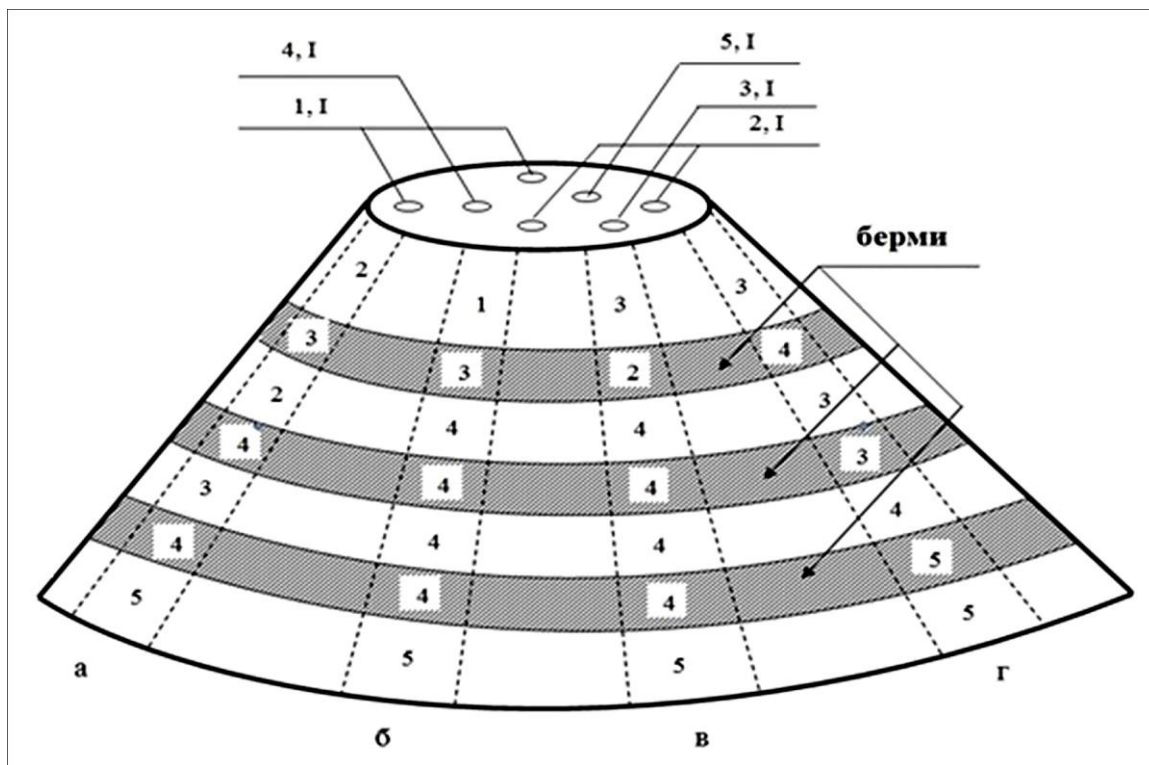


Рис. 6.2. Маркерна карта лісоприсадності одного з залізорудних відвалів Криворіжжя, 1–5-категорії лісоприсадності; а, б, в, г – дослідні ділянки; І – вивали породи

Розвиток рослинності на відвалі – тривалий процес і його істотно можна прискорити, використовуючи розроблений нами принцип маркерного картування едафотопів відвалу за лісопридатністю. В ході картування візуально необхідно оцінювати спрямованість поширення рослинності навколо виділених дослідних ділянок, що дасть додаткову важливу інформацію про межі придатності для озеленення конкретних територій відвалу. Саме озеленення відвалу потрібно проводити лише на тих ділянках, де лісопридатність не більше 30–50%. Тут можна проводити висаджування рослин на найменш озеленених ділянках. На відкритих ділянках, де зустрічаються поодинокі особини, необхідне масове висаджування рослин. Асортимент деревних рослин і технологічні прийоми його розміщення повинні поєднуватися з біологічними особливостями використовуваних видів і вимагає додаткової детальної розробки [140].

Запропонований спосіб озеленення відвалів, крім своєї екологічної значимості, важливий ще й тим, що використання різних видів рослин в озелененні розширює можливості подальшого включення відвалу в міську інфраструктуру, наприклад, в його рекреаційну складову.

Висновки по розділу:

1. За критерієм наявності певної кількості деревних видів на різних ділянках «молодих» відвалів з несформованим рослинним покривом виділяється 5 категорій едафотопів за лісопридатністю.

2. Використання зазначеного принципу встановлення лісопридатності відвальних екотопів дозволяє створити реперну карту, яка слугує інструкцією для практичних рішень у використанні деревних рослин для озеленення окремих ділянок відвалів.

ВИСНОВКИ

Маршрутні багаторічні дослідження видового різноманіття і життєздатності деревних рослин на залізорудних відвалах Криворіжжя показали, що до найстійкіших довговічних видів належать *Pinus pallasiana* та *P. sylvestris*, які до того ж значно покращують естетично стан докорінно змінених техногенних ландшафтів.

1. Виявлено, що 35–40-річні насадження *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* впродовж всього періоду спостережень з 2005 р. по 2016 р. на залізорудних відвалах Криворіжжя, на відміну від переважної більшості листяних видів, відзначаються високою стійкістю і тривалістю життя. Ці види здатні успішно рости і розвиватися на різних ділянках відвалів: біля підніжжя, на схилах, бермах і вершині, в екотопах, які суттєво відрізняються за механічним і фізико-хімічним складом субстратів (кварцити, сланці, мігматити, граніти) у вкрай несприятливих едафічних умовах.

2. З'ясовано, що в насадженнях *P. pallasiana* і *P. sylvestris* 30–35-річного віку внаслідок опадання хвої і шишок, а також природного відпаду нижніх гілок, утворюється стабільна підстилка, шар якої в западинах перевищує 20 см. Запаси її становлять 22,2–37,3 т/га. Підстилка покращує еколого-едафічні умови в межах насаджень, призводить до збагачування породи відвалів органічними речовинами і створює умови для активізації ґрунтоутворюючих процесів. В її нижньому шарі утворюється детрит.

3. За результатами досліджень доведено, що рослини обох видів сосен, які досягли репродуктивної фази розвитку, на відвалах формують поверхневу кореневу систему з добре розвинутими горизонтальними боковими коренями. Формування такої кореневої системи, яка далеко виходить за проекцію крони, є адаптивною реакцією рослин на специфічне едафічне середовище, оскільки у поверхневому шарі субстрату завдяки

фізико-хімічному вивітрюванню накопичується більше доступних для рослин поживних речовин.

4. Встановлено феномен насіннєвого відновлення обох видів сосен на залізорудних відвалах, яке відбувається щорічно навколо їх первинних насаджень у радіусі 300-500 м. Молоді рослини самосіву формують перші жіночі шишки у 7-річному віці і в наступні роки відзначаються нормальною репродуктивною здатністю, утворюючи повноцінне насіння. Інтенсивність відновлення в різні роки суттєво відрізняється; спорадично утворення самосіву носить масовий характер.

5. Просторове розміщення мікросайтів самосіву сосен детермінується напрямками домінуючих вітрів, фізико-хімічним складом субстратів, особливостями мікро- та мезорельєфу відвалів. Окремі популяційні локуси на відвалах мають площу 1–2 га, а щільність молодих рослин у них досягає 15–75 особин різного віку на 100 м². Площа природного розселення *P. pallasiana* навколо материнських насаджень становить 0,043–1,0 га, що в 2,4–21,5 рази більше площі материнських насаджень. Найбільше в мікросайтах самосіву на Першотравневому відвалі були представлені три-, чотири- і семирічні рослини, а найменше – дво- і десятирічні. Переважна більшість самосіву *P. pallasiana* на залізорудному відвалі не уражена хворобами і шкідниками і має високий віталітет.

6. Показано, що самосів *P. pallasiana* в 7–10-річному віці на залізорудному відвалі за морфометричними показниками переважає самосів на згарищах в природній популяції цього виду в Гірському Криму і значно раніше (на 4–5 років) формує перший врожай шишок.

7. Локальні популяції *P. pallasiana* і *P. sylvestris*, що стихійно формуються на окремих залізорудних відвалах Криворіжжя, мають дещо збіднений рівень алельного різноманіття, однак за рівнем гетерозиготності мало поступаються природним популяціям цих видів, відповідно Гірському Криму та Степу. Все це свідчить, що в умовах відвалів не відбувається односпрямованого відбору на користь певних генотипів.

8. Розроблено методичний підхід з моніторингової оцінки лісопридатності окремих частин та в цілому відвалу для біологічної рекультивації з виключенням матеріально-фінансово затратного технічного етапу перепланування його поверхні та насипкою шару ґрунту. Запатентовано способи використання *P. pallasiana* і *P. sylvestris* в озелененні залізорудних відвалів Криворіжжя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агроклиматический справочник по Днепропетровской области. Л.: Гидрометеиздат, 1958. 86 с.
2. Айала Ф. Введение в популяционную и эволюционную генетику. Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 232 с.
3. Актуальные проблемы оценки жизнеспособности древесных растений на железорудных отвалах Криворожья / И. И. Коршиков, Н.С. Терлыга, О.В. Красноштан [и др.] // Наукові записки Тернопільського держ. ун-ту. 2007. № 2 (32). С. 127–132.
4. Алексеев В.А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 38–54.
5. Алисов Б.П. Климат СССР. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1969. 104 с.
6. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. 3-е изд. М.: «Академкнига», 2003. 431 с.
7. Бабець Є.К. Концепція розробки державної програми комплексного вирішення проблем Кривбасу / Розробка рудних месторождений: Науч.-техн. сборник МОН Украины. 2011. Вып. 94. С. 24–31.
8. Баранник Л.Г. Экологическая пригодность древесных и кустарниковых пород для лесной рекультивации в Кузбассе // Восстановление техногенных ландшафтов в Сибири. Новосибирск, 1977. С. 120–138.
9. Баранник Л.П. Биоэкологические принципы лесной рекультивации. Новосибирск: Наука, 1988. 83 с.

10. Бекаревич Н.Е., Масюк Н.Т. Возможность создания на рекультивированных землях в степи и сухой степи почв высокого плодородия // Земельные ресурсы мира, их использование. М.: Наука, 1978. С. 108–116.
11. Белобородов В.М., Ширяев В.И., Патлай И.Н. Интродуценты в лесных культурах европейской части страны // Лесное хозяйство. 1992. № 8–9. С. 38–39.
12. Бельгард А.Л., Травлеев А.П. О процессах адаптации и сylvатизации искусственных лесных биогеоценозов к условиям степной среды // Проблемы лесного почвоведения. М.: Наука, 1973. С. 5–15.
13. Бельгард А.Л. Степное лесоразведение. М.: Лесная промышленность, 1971. – 336 с.
14. Берман Д.И., Трофимов С.С. К определению понятия о почве и ее плодородии // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 25–30.
15. Биологическая репродуктивность сосны в лесостепной зоне / В.И. Рубцов, А.И. Новосельцева, В.К. Попов, В.В. Рубцов. М.: Наука, 1976. 224 с.
16. Біотехнологія рекультивації залізорудних відвалів шляхом створення стійких трав'янистих рослинних угруповань / А.Ю. Мазур, В.В. Кучеревський, Г.Н. Шоль [та ін.] // Наука та інновації. 2015. Т. 11, № 4. С. 41–54.
17. Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. Л.: Наука, 1978. 189 с.
18. Бровко Ф.М. Вільха чорна та перспективи її вирощування на відвалах Юрківського буровугільного родовища // Науковий вісник НАУ. Лісівництво. К.: НАУ. 1998. № 8. С. 148–153.

19. Бровко Ф.М. Лісова рекультивація відвальних ландшафтів Придніпровської височини України: Монографія. К.: Арістей, 2009. 264 с.
20. Бровко Ф.М. Лісові культури акації білої на відвальних ландшафтах Кривбасу // Науковий вісник Національного аграрного університету. К.: НАУ. 2000. № 29. С. 293–297.
21. Бровко Ф.М. Подготовительные культуры древесных и кустарниковых пород азотонакопителей на биологическом этапе рекультивации отвалов железорудных карьеров Кривбасса // Совершенствование лесного хозяйства и защитного лесоразведения. 1986. С. 128–135.
22. Бровко Ф.М. Сосново-вільхові культури на піщаних відвалах Житомирського Полісся // Науковий вісник Національного аграрного університету. К.: НАУ. 2004. № 70. С. 232–244.
23. Булава Л.Н. Физико-географический очерк территории Криворожского горнопромышленного района. Кривой Рог. Деп. в УкрНИИНТИ 2.1190, №1808 – Ук 90. 125 с.
24. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-физиологическая характеристика. Тропические и субтропические зоны. – М.: Прогресс, 1968. Т.1. 552 с.
25. Вернардер Н.В. Почвы степной зоны // Природа Украинской ССР. Почвы. Киев: Наук. думка, 1986. С. 105–144.
26. Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой. Устойчивость. Фитоиндикация. Оптимизация / И.И. Коршиков, В.С. Котов, И.П. Михеенко [и др.]. К.: Наук. думка, 1995. 191 с.

27. Возобновление на железорудных отвалах Криворожья натурализованных в степной зоне видов-интродуцентов древесных растений / И.И. Коршиков, А.Е. Мазур, О.В. Красноштан [и др.] // Інтродукція та захист рослин у ботанічних садах та дендропарках: Матер. міжнар. наук. конф. Донецьк, 2006. С. 247–250.
28. Воробейчик Е.Л. К методике измерения мощности лесной подстилки для целей диагностики техногенных нарушений экосистем. // Экология. 1997. №4. С. 263–267.
29. Воронцова Л.И., Заугольнова Л.Б. Мультивариантность развития особей в течение онтогенеза и ее значение в регуляции численности и состава ценопопуляций растений // Журн. общ. биологии. 1978. Т. 34, № 4. С. 555–561.
30. Генетические особенности деревьев сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) с существенными отличиями в семенной продуктивности в насаждениях Криворожья / И.И. Коршиков, А.Е. Мазур, Н.С. Терлыга [и др.] // Інтродукція рослин. 2011. № 1. С. 70–75.
31. Геоморфология Украинской ССР / И.М. Рослый, Ю.А. Кошик, Э.Т. Палиенко [и др.]. К.: Вища школа, 1990. 287 с.
32. Гнатюк А.М., Гапоненко М.Б. Критерії оцінки результатів інтродукції рослин у колекціях ботанічних установ // Лісове і садово-паркове господарство. 2017. № 13. С. 11–17.
33. Головенко Є.О. Ліхенофлора залізорудних відвалів м. Кривий Ріг // Чорномор. ботан. журн. 2016. Т. 12. № 3. С. 78 – 84.
34. Горбунов Н.И., Бекаревич Н.Е., Михайлова З.Н. Химико-минералогический состав и свойства почв и пород, нарушенных

промышленностью, как показатели их пригодности в сельском хозяйстве
// Почвоведение. 1970. № 8. С.125–137.

35. Горбунов Н.И., Туник Б.М., Орлов В.И. Теоретическое обоснование рекультивации земель и прогнозирование их пригодности в сельском и лесном хозяйстве // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 30–37.
36. Горейко В.А. Теория и практика защитного лесоразведения в условиях степного Приднепровья. Днепропетровск: Пороги, 1996. 228 с.
37. ГОСТ 17.5.1.03-86. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. 8 с.
38. Грешта Я. Рекультивация промышленных бросовых земель в Польской Народной Республике // Растительность и промышленные загрязнения. Свердловск, 1970. С. 63–72.
39. Гроздов Б.В. Дендрология. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1952. 437 с.
40. Гроздова Н.Б., Некрасов В.И., Глоба-Михайленко Д.А. Деревья, кустарники и лианы. М.: Лесная промышленность, 1986. 349 с.
41. Дауетас М.С., Кирклис А.Е. Таблицы роста сосновых культур // Лесное хозяйство. 1964. № 2. С. 61–63.
42. Демкович А.Е. Программа «GENRES» для анализа данных популяционно-генетических исследований хвойных // Промышленная ботаника. 2007. Вып. 7. С. 33–36.
43. Дендрофлора зелених насаджень м. Кривий Ріг і перспективи її збереження та збагачення / В.Д. Федоровський, Ю.С. Юхименко, О.В. Данильчук [та ін.] // Вісті біосферного заповідника «Асканія Нова». Вип. 14. Асканія-Нова, 2012 . С. 405–408.

44. Дендрофлора України. Дикорослі та культивовані дерева та кущі. Голонасінні. Довідник / М.А. Кохно, В.І. Гордієнко, Г.С. Захаренко [та ін.]. К.: Вища школа, 2001. 207 с.
45. Денисик Г.І., Задорожня Г.М. Похідні процеси та явища в ландшафтах зон техногенезу. Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. 220 с.
46. Дидух Я.П. Растительный покров Горного Крыма (структура, динамика, эволюция и охрана). К.: Наук. думка, 1992. 256 с.
47. Дидух Я.П. Сосновые леса Горного Крыма // Ботан. журн. 1990. Т. 75. № 3. С. 336–346.
48. Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Геоботанічне районування України та суміжних територій // Український ботанічний журнал. 2003. Т. 60. № 1. С. 6–17.
49. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях / Под ред. Ю.П. Алтухова. М.: Наука, 2004. 619 с.
50. Добровольский И.А. Эколого–биогеоценологические основы оптимизации техногенных ландшафтов степной зоны Украины путем озеленения и облеснения (на примере Криворожского железорудного бассейна). Автореф. дисс. ... д. б. н. Днепропетровск, 1979.
51. Добровольский І.А., Шанда В.І., Гаєва Н.В. Характер і напрямки сингенезу в техногенних екотопах Кривбасу // Український ботанічний журнал. 1979. №6. С. 524–527.
52. Долина О.О. Едафотопи та фітоценози індустріальних ландшафтів Криворізького залізорудного басейну: просторова структура та особливості формування: автореф. ... дис. канд. біол. наук. К., 2015. 20 с.

53. Дороненко Е.П. Рекультивация земель, нарушенных открытыми разработками. М.: Недра, 1979. 263 с.
54. Древесно-кустарниковые породы для озеленения уступов и отвалов карьеров Кривбасса / И.А. Давыдов, И.А. Добровольский, В.А. Михайлов [и др.] // Растения и промышленная среда: матер. II-й науч. конф. К.: Наук. думка, 1971. С. 145–148.
55. Древесные интродуценты в озеленении отвалов горнодобывающих предприятий степной зоны Украины / И.И. Коршиков, С.П. Жуков, Н.С. Терлыга [и др.]. // Будівництво та реконструкція ботанічних садів і дендропарків в Україні: матер. наук. конф. Сімферополь, 2006. С. 162–165.
56. Ена В.Г. Физико-географическое районирование Крымского полуострова. Вестник Москов. ун-та. Сер. 5. 1960. № 2. С. 33–43.
57. Естественное возобновление сосны крымской (*Pinus pallasiana* D.Don) на железорудном отвале Криворожья / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан, Н.С. Терлыга [и др.] // Інтродукція рослин. 2005. № 4. С. 46–51.
58. Естественное облесение железорудных отвалов Криворожья / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан, Н.С. Терлыга [и др.] // Відновлення порушених природних екосистем: матер. Другої міжнар. наук. конф. Донецьк, 2005. С. 159–161.
59. Естественное формирование пионерных сосново-березовых парцелл на железорудных отвалах Криворожья / И.И. Коршиков, Н.С. Терлыга, А.Е. Мазур [и др.] // Старовинні парки і ботанічні сади – наукові центри збереження біорізноманітності та охорона історико-культурної

- спадщини: матер. міжнар. наук. конф. К.: Академперіодика, 2006. С. 348–350.
60. Єременко Н.С. Рудеральна рослинність Кривого Рогу. I. Клас *Artemisietea vulgaris* // Укр. ботан. журн. 2017. Т. 74, № 5. С. 449–468.
 61. Єременко Н.С. Рудеральна рослинність Кривого Рогу. II. Клас *Stellarietea mediae* // Укр. ботан. журн. 2018. Т. 75, № 4. С. 356–372.
 62. Єременко Н.С. Сингенетичні зміни рудеральної рослинності Кривого Рогу // Укр. ботан. журн. 2019. Т. 76, № 1. С. 31–41.
 63. Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 271 с.
 64. Жукова Л.А. Многообразие путей онтогенеза в популяциях растений // Экология. 2001. № 3. С. 169–176.
 65. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев: Штиинца, 1980. 587 с.
 66. Зайцев Г.А., Моторина Л.В., Данько В.Н. Лесная рекультивация. М.: Лесная промышленность, 1977. – 128 с.
 67. Зарубенко А.У. До питання про ґрунтополіпшуючу роль вільхи чорної в лісах західного Полісся // Український ботанічний журнал. 1972. Т. 29. № 1. С. 109–113.
 68. Зверковский В.Н. Адаптация древесных пород к техногенным условиям Западного Донбасса // Механизмы адаптации растений и животных к экстремальным факторам среды: Тез. Ростовского областного научного семинара. Ростов–на–Дону, 1987. С. 219.
 69. Зверковский В.Н. Биogeоценологическое обоснование лесной рекультивации земель, нарушенных угольной промышленностью в

- степной зоне Украины: дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.16. Днепропетровск, 1999. 566 с.
70. Зверковський В.М. Наукові передумови освоєння порушених земель // Біологія та екологія. 2015. № 1. С. 67–74.
 71. Зверковский В.Н., Зубкова О.С. Життєвість початково створених лісових культур на різних варіантах рекультивації відвалу шахти «Павлоградська» // Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. Випуск 44. 2015. С. 126–131.
 72. Ижевская Т.И. Особенности развития корневых систем растений на отвалах бурогольных разработок // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 183–188.
 73. Ипатов В.С., Герасименко Г.Г. Оценка жизненности деревьев и древостоев с помощью бонитировочных шкал // Вестник Ленинградского государственного университета. 1988. Сер. 3. Вып. 1. № 3. С. 32–38.
 74. Исаков Ю.Н., Кузнецова Н.Ф. Анализ взаимодействия генотип – годы при оценке семенной продуктивности сосны обыкновенной // Проблемы лесоведения и лесоводства (Институту леса НАН Беларуси – 75 лет): сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси, 2005. Вып. 63. С. 201–203.
 75. Казаков В.Л. Геоморфологія відвалів Кривбасу // Геолого-мінералогічний вісник, 1999, № 2. С. 46–51.
 76. Карпачевский И.О., Киселева Н.К. О методике учета опада и подстилки в смешанных лесах // Лесоведение. 1968. №3. С.73– 79.

77. Карпенко С.В., Євтехов В.Д., Євтехова Г.В. Топомінералогія супутніх корисних копалин Ганнівського залізорудного родовища Криворізького басейну // Геолого-мінералогічний вісник. 2008. 1 (19). С. 82–84.
78. Коба В.П. Эколого-биологические особенности роста и репродукции сосны крымской (*Pinus pallasiana* D.Don) в Горном Крыму: автореф. ... канд. биол. наук. Ялта, 1993. 24 с.
79. Козубов Г.М. Биология плодоношения хвойных на Севере. – Л.: Наука, Ленинград. отделение, 1974. 136 с.
80. Колесников Б.П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 12–25.
81. Колпиков М.В. Лесоводство с дендрологией. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1954. 496 с.
82. Комиссар И.А., Гордиенко И.И., Цикаляк Г.П. Естественное зарастание железисто-кварцитовых отвалов Кривого Рога травянистой растительностью // Растения и промышленная среда. К.: Наукова думка, 1976. С. 17–19.
83. Кондратюк Е.Н., Чайка В.Е. Восстановление биологической продуктивности земель Кривбасса, нарушенных открытыми горными разработками // Повышение эффективности открытой разработки месторождений. К.: Наук. думка, 1979. С. 225–240.
84. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. К.: Наук. думка, 1996. 238 с.

85. Коршиков И.И. Изменчивость относительных показателей урожая семян сосен в степной зоне Украины // Интродукция и акклиматизация растений. 1998. Вып. 30. С. 169–174.
86. Коршиков И.И., Красноштан О.В. Биоэкологические характеристики трех устойчивых самовозобновляемых видов древесных растений на железорудных отвалах Криворожья. Від заповідання до збалансованого природокористування: матеріали міжнар. наук. конф. (Донецьк, 20–22 березня 2013 р.). Донецьк, 2013. С. 136–137.
87. Коршиков И.И., Красноштан О.В., Пастернак Г.А. Видовое разнообразие древесных растений на промышленных отвалах степной зоны Украины // Вісн. Дніпропетр. держ. аграрного ун-та. 2012. № 2. С. 24–28.
88. Коршиков И.И., Красноштан О.В. Генетическая структура самосева сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) на гарях в Горном Крыму и на железорудном отвале Криворожья // Цитология и генетика. 2010. Т. 44. № 3. С. 27–34.
89. Коршиков И.И., Красноштан О.В., Пастернак Г.А. Естественное возникновение пионерных парцелл древесных растений на промышленных отвалах степной зоны Украины // Вісн. Дніпропетр. держ. аграрного ун-та. 2012. № 1. С. 167–171.
90. Коршиков И.И., Красноштан О.В. Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья. Донецк, 2012. 280 с.
91. Коршиков И.И., Калафат Л.А., Игнатенко А.А. Изменчивость показателей половой репродукции *Pinus sylvestris* L. в лесонасаждениях Украины // Интродукция и акклиматизация растений. 1999. Вып. 32. С. 149–158.

92. Коршиков И.И., Красноштан О.В. О фитоэкологической оценке эдафотопов железорудных отвалов Криворожья // Промышленная ботаника. 2010. Вып. 10. С. 16–21.
93. Коршиков И.И., Пастернак А.Г., Красноштан О.В. Пластичность корневой системы устойчивых видов древесных растений, поселяющихся на промышленных отвалах в степной зоне Украины // Інтродукція рослин. 2014. № 1. С. 72–78.
94. Коршиков И.И., Терлыга Н.С., Бычков С.А. Популяционно-генетические проблемы дендротехногенной интродукции (на примере сосны крымской). Донецк: ООО «Лебедь», 2002. 328 с.
95. Коршиков И.И., Жуков С.П. Самовозобновление древесных растений // Промышленная ботаника. 2008. Вып. 8. С. 17–23.
96. Коршиков І.І., Красноштан О.В., Шевчук Н.Ю. Антропогенний вплив на формування підстилки в соснових насадженнях. Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України: матеріали Міжнар. наук. конф. (Дніпро, 25–27 жовтня 2016 р.). Дніпро: Ліра, 2016. С. 32–33.
97. Коршиков І.І., Красноштан О.В. Особливості генетичної структури локальної популяції *Pinus sylvestris* L., яка спонтанно формується на залізорудному відвалі Криворіжжя // Укр. ботан. журн. 2010. Т. 67, № 6. С. 920–926.
98. Коршиков І.І., Красноштан О.В., Пастернак Г.О. Особливості генетичної структури деревостанів *Pinus sylvestris* L. (Pinaceae Lindl.) промислово порушених та аеротехногенно забруднених територій // Укр. ботан. журн. 2012. Т. 70, № 1. С. 108–112.

99. Кочкин М.А. Почва, леса и климат Горного Крыма и пути их рационального использования. М.: Колос, 1967. 368 с.
100. Красильников П.К. Методика изучения подземных органов деревьев, кустарников и лесных сообществ при полевых геоботанических исследованиях // Полевая геоботаника. – М., Л., 1960. Вып. 2. С. 448–489.
101. Культура сосни звичайної в Україні / М.І. Гордієнко, В.П. Шлапак, А.Ф. Гойчук [та ін.]. Львів, 2005. 608 с.
102. Кучеревський В.В. Конспект флори Правобережного степового Придніпров'я. Дніпропетровськ: Проспект, 2004. – 292 с.
103. Кучеревский В. В., Мазур А. Е., Доценко А. Н. Оценка пригодности пород хвостохранилищ ГОКов Кривбасса для биологической рекультивации // Интродукция и акклиматизация растений. К, 1988. Вып. 10. С. 73–77.
104. Левон Ф.М. Зелені насадження в антропогенно трансформованому середовищі. К.: ННЦІАЕ, 2008. 364 с.
105. Лісові культури: підручник / М.І. Гордієнко, М.І. Гузь, Ю.М. Дебринюк, В.М. Маурер. Львів: Камула, 2005. 608 с.
106. Лукина Н.В., Никонов В.В. Исследование первичной продуктивности еловых древостоев под влиянием техногенных загрязнений на Кольском Севере // Лесоведение. 1991. № 4. С. 37–45.
107. Лукьянец А.И. Естественное возобновление древесных растений на железорудных отвалах открытых разработок Карпинско-Волчанского бассейна // Растительность и промышленная среда. (УГУ, сборник 3). – Свердловск, 1974. С. 133–157.

108. Лукьянец А.И. Закономерности естественного облесения промышленных отвалов Свердловской области // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 241–249.
109. Мазур А.Е. Рост и развитие сосны крымской и робинии лжеакации на железорудных отвалах Криворожья // Биологическая рекультивация нарушенных земель: матер. междунар. совещ., 26–29 авг. 1996 г. – Екатеринбург, 1997. С. 159–169.
110. Мазур А.Ю., Кучеревський В.В. Основні напрямки наукової діяльності та етапи становлення Криворізького ботанічного саду НАН України (до 25-річчя від дня заснування) // Проблеми збереження, відновлення та збагачення біорізноманітності в умовах антропогенно зміненого середовища: матер. міжнар. наук. конф. (Кривий Ріг, 16–19 травня 2005 р.). Кривий Ріг, 2005. С. 44–47.
111. Мазур А.Е., Сметана Н.Г. Структура и рекультивация ландшафтов Криворожья // Тезисы докладов междунар. совещ. 26–29 августа 1996. «Биологическая рекультивация нарушенных земель». – Екатеринбург: Ур. отд. ин-та леса РАН. 1996. С. 91–92.
112. Маленко Я.В. Самозаростання відвалів гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу // Техногенні ландшафти: структура функціонування, оптимізація: Матер. Всеукраїнської конференції. Кривий Ріг, 1996. Ч. 3. С. 23–24.
113. Маринич О. М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: підр. – [3-тє вид., стер.]. К.: Т-во «Знання», КОО, 2006. – 511 с.
114. Масюк А.Н. Анализ первичной продуктивности насаждений робинии лжеакации на рекультивированных землях степного Приднепровья //

Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2006. Вип. 14, т. 1. С. 118–125.

115. Масюк Н.Т., Бекаревич Н.Е. Некоторые программно-методические вопросы изучения биогеоценотического покрова в техногенных ландшафтах // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М., 1978. С. 89–104.
116. Матяш Ч. Генетические и экологические ограничения адаптации // Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений. М.: Наука, 1989. С. 60–67.
117. Методы лесной селекции, их генетическое обоснование и эффективность / С.А. Петров, И.Н. Патлай, В.И. Сахаров [и др.]. // Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений: Матер. междунар. симпоз. (25–30 сентября 1989 г., Воронеж). М.: Б. и., 1989. С. 29–36.
118. Минина Е.Г. Смещение пола у растений под воздействием факторов внешней среды. М., 1952. 199 с.
119. Миронов В.В. Экология хвойных пород при искусственном лесовозобновлении. М.: Лесная промышленность, 1977. 232 с.
120. Мониторинг фитопопуляций / Л.Б. Заугольнова, О.В. Смирнова, А.С. Комаров [и др.] // Успехи соврем. биологии, 1993. Т. 113. № 4. С. 402–414.
121. Моторина Л.В., Овчинников В.А. Промышленность и рекультивация земель. М.: Мысль, 1975. 240 с.
122. Музафарова А.А. Эколого-генетический анализ процессов лесовозобновления на отвалах горнодобывающих предприятий цветной

- металлургии: автореф. дис. ... биол. наук: спец.: 03.00.16 «Экология». Уфа, 2006. 18 с.
123. Мякушко В.К. Сосновые леса равнинной части УССР. К.: Наук. думка, 1978. 256 с.
 124. Назаренко І.І., Польчина С.М., Нікорич В.А. Ґрунтознавство: Підручник. Чернівці: Книги–ХХІ, 2004. 400 с.
 125. Національний атлас України. К.: ДНВП «Картографія», 2007. 435 с.
 126. Некрасов В.И. Актуальные вопросы развития теории акклиматизации. М.: Наука, 1980. 101 с.
 127. Некрасов В.И. Генетические аспекты естественного и искусственного отборов в интродукции растений // Журн. общ. биологии. 1993. Т. 54, № 3. С. 333–340.
 128. Некрасов В.И. Естественный и искусственный отбор в интродукции древесных растений // Лесоведение. 1991. № 1. С. 63–66.
 129. Некрасов В.И. Основы семеноведения древесных растений при интродукции. М.: Наука, 1973. 279 с.
 130. Некрасова Т.П. Изменчивость числа семян в шишках сосны от опыления // Лесоведение. 1986. № 1. С. 38–42.
 131. Некрасова Т.П. Развитие исследований по биологии плодоношения хвойных древесных пород в СССР // Плодоношение хвойных пород в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. С. 4–25.
 132. О необходимости мониторинга дендроинтродуцентов на горнорудных отвалах степной зоны Украины / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан, Р.С. Шляхов [и др.] // Інтродукція, селекція та захист рослин: Матер. Другої міжнар. наук. конф. Донецьк, 2009. С. 383–388.

133. О рекультивации земель в степи Украины. Под ред. Н.Е. Бекаревича. Днепропетровск: Промінь, 1971. 219 с.
134. Обґрунтування створення техногенного заказника «Першотравневий» / О.М. Сметана, О.О. Красова, О.О. Долина [та ін.] // Вісник Дніпропетровського Державного аграрно-економічного університету. 2014. № 1 (33). С. 162–166.
135. Олейник Н.А. Флора и растительность промышленных ландшафтов Донбасса: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 «Экология». Днепропетровск, 1984. 16 с.
136. Особенности морфологии корневой системы древесных растений, произрастающих на железорудных отвалах Криворожья / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан, А.Е. Мазур [и др.] // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: Матер. VI міжнар. наук. конф. Донецьк, 2010. С. 247–250.
137. Отчет по теме «Разработать способы фиторекультивации отвалов Криворожского железорудного бассейна», выполнявшегося в 1974–1976 гг. (Инвентарный номер Б 598182). Донецк-Кривой Рог, 1976. 67 с.
138. Павленко А.О., Красова О.О., Коршиков І.І. Сингенетичні процеси на залізорудних відвалах північної частини Криворіжжя // Укр. ботан. журн. 2017. Т. 74, № 4. С. 360–372.
139. Палиенко Э.Т. Причерноморская низменность и равнинный Крым // Геоморфология Украинской ССР. Под ред. И.М. Рослого. К.: Выща школа, 1990. С. 171–205.
140. Пат. 17262 А UA, МПК A01B 79/00. Спосіб озеленення залізорудних відвалів Криворіжжя двома видами сосен: деклараційний патент на

- корисну модель / І.І. Коршиков, А.Ю. Мазур, Н.С. Терлига, О.В. Красноштан. № 2006 03418; заявл. 29.03.06; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9. 12 с.
141. Пащенко В.М. Степная зона // Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование. К.: Наук. думка, 1985. С. 122–180.
142. Плуґіна Т.В., Чайка В.Є., Чуприна Т.Т. Природне та штучне заростання відвалів Кривбасу // Укр. ботан. журн. 1981. Т. 38, № 4. С.76–77.
143. Подгорный Ю.К., Коц З.П. Влияние вертикальной зональности природных факторов в горах на развитие семян сосны крымской *Pinus pallasiana* Lamb. // Экология. 1983. № 2. С. 24–30.
144. Подгорный Ю.К., Ругузов И.А. Особенности микроспорогенеза и развития мужского гаметофита сосны крымской в связи с семеношением и жизненностью популяций // Бюл. Гос. Никит. ботан. сада. 1979. Вып. 1 (38). С. 21–25.
145. Подгорный Ю.С. Методические рекомендации по выделению природных популяций растений в горных условиях. Ялта, 1988. 23 с.
146. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. М.: Наука, 1964. 192 с.
147. Природнича географія Кривбасу / В.Л. Казаков, І.С. Паранько, М.Г. Сметана [та ін.]. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2005. 151 с.
148. Просторова диференціація екологічного потенціалу посттехногенного ландшафту (відвал Першотравневого кар'єру ПАТ «ПівніЗК») / О.М. Сметана, Ю.В. Ярошук, О.О. Долина, І.Л. Михайленко // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, 2012. Вип. 17. № 1. С. 35–55.
149. Пространственная агроэкология и рекультивация земель: монография /

- А.А. Демидов, А.С. Кобец, Ю.И. Грицан, А.В. Жуков. Днепропетровск: Изд-во «Свидлер А.Л.», 2013. – 560 с.
150. Рекультивация карьеров в степи Украинской ССР / Н.Е. Бекаревич, А.А. Колбасин, П.В. Галай [и др.] // Растения и промышленная среда: матер. II-й науч. конф. К.: Наук. думка, 1971. С. 130–133.
 151. Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем: монография / И. Х. Узбек, А. С. Кобец, П. В. Волох [и др.]. Днепропетровск: «Пороги», 2010. 263 с.
 152. Розповсюдженість та життєздатність видів роду *Pinus* L. в насадженнях м. Кривий Ріг / Н.Ю. Шевчук, І.І. Коршиков, Е.Р. Гусейнова [та ін.] // Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель: наук. журн. Д.: ЛПРА, 2017. Т. 46. С. 10–17.
 153. Романовский М.Г. Гаметофитная смертность семян сосны обыкновенной // Генетика. 1989. Т. 25, № 1. С. 99–108.
 154. Романовский М.Г. Полиморфизм древесных растений по признакам-корреляциям // Генетика. 1988. Т. 24, № 7. С. 1241–1249.
 155. Ругузов И.А., Склонная Л.У. Изменчивость систем репродукции хвойных под влиянием загрязнения среды // Промышленная ботаника: Состояние и перспективы развития: тез. докл. междунар. науч. конф. Донецк. ботан. сада АН Украины. Донецк, 1993. С. 52–56.
 156. Савич А.И. К вопросу о классификации вскрышных пород для биологической рекультивации // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 124–130.
 157. Сагындыкова Н.М. Особенности роста и развития деревьев и кустарников, высаженных на промышленные отвалы Лениногорского

- полиметаллического комбината // Восстановление нарушенных промышленностью земель в Казахстане. Алма-Ата: Наука, 1984. С. 23–33.
158. Самовозобновление *Pinus sylvestris* L. на железорудных отвалах Криворожья / И.И. Коршиков, О.В. Красноштан, Н.С. Терлыга [и др.] // Промышленная ботаника. 2005. Вып. 5. С. 85–89.
159. Санников С.Н. Циклически эрозионно-пирогенная теория естественного возобновления сосны обыкновенной // Экология. 1983. № 1. С. 10–20.
160. Сергиевский С.О. Генетический полиморфизм и адаптивные стратегии популяции // Фенетика природных популяций. М.: Наука, 1988. С. 190–201.
161. Скавина Т., Трафас М. Предложения по оценке грунтов для рекультивации // Разработка способов рекультивации ландшафта, нарушенного промышленной деятельностью: Международный симпозиум, 3–10 июля 1973. Бургас: Солнечный берег, 1973. С. 306–314.
162. Скворцов А.К. Интродукция растений и ботанические сады: размышления о прошлом, настоящем и будущем // Бюл. Гл. ботан. сада. 1996. Вып. 173. С. 4–16.
163. Скрипник О.О. Управління екологічною безпекою порушених гірничими роботами земель з використанням геометризацийних параметрів поверхні. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2016. 43 с.
164. Сметана М.Г. Синтаксономія степової та рудеральної рослинності Криворіжжя. Вид-во «І.В.І.», Кривий Ріг. 2002. 132 с.
165. Сметана Н.Г., Мазур А.Е., Сметана А.Н. Рост и развитие сосны крымской на железорудных отвалах Кривбасса // Интродукция и акклиматизация растений. Вып. 32. 1999. С. 140–148.

166. Сметана О.М., Сметана Н.М. Структура наземної мезофауни Кривбасу. – Київ: Фітоцентр, 2005. 227 с.
167. Сметана О.М., Мазур А.Ю. До теорії оптимізації порушених гірничими роботами земель // Проблеми збереження біорізноманіття в природних та техногенно порушених екосистемах: мат. наукової конф. молодих вчених. Кривий Ріг: Видавничий дім, 2008. С. 8–14.
168. Сметана О.М., Долина О.О., Ярошук Ю.В. Диференціація екотопів посттехногенних ландшафтів (гігро- та літохімічний аспект) // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2013. Вип. 18. № 1. С. 11–15.
169. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Истомина И.И. Квazисенильность как одно из проявлений фитоценотической толерантности растений // Журн. общ. биологии. 1984. Т. 45. № 2. С. 216–225.
170. Смит У.Х. Лес и атмосфера. Взаимодействие между лесными экосистемами и примесями атмосферного воздуха. М.: Прогресс, 1985. 429 с.
171. Созинов А.А. Полиморфизм белков и его значение в генетике и селекции. М.: Наука, 1985. 272 с.
172. Ставрова Н.И. Влияние атмосферного загрязнения на семеношение хвойных пород // Лесн. экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 115–121.
173. Сукачев В.Н. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Избранные труды. Ленинград: Наука, 1972. Т. 1. 418 с.
174. Тарчевский В.В. Взаимоотношения растений как основа формирования фитоценозов в промышленных отвалах // Растения и промышленная

- среда. Ученые записки, № 94, серия биологическая, вып. 5. Свердловск, 1970. С. 3–64.
175. Терещенко В.Ф. О создании условий для произрастания лесных культур на каменных отвалах горных пород // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. Киев: КГУ, 1977. Вып. 4. С. 7–19.
176. Терещенко В.Ф. Екологічні принципи і прийоми підбору деревних і чагарникових порід для рекультивації скельних відвалів Кривбасу: автореф. дис. ... канд. біол. наук. Дніпропетровськ, 1993. 18 с.
177. Термена Б.К. Критические периоды в годичном цикле развития древесных интродуцентов умеренных широт // Теория и методы интродукции растений и зеленого строительства. Киев: Наук. думка, 1980. С. 95–97.
178. Травлеев А.П. Взаимоотношения растительности с почвами в лесных биогеоценозах степной зоны Украины // Лесоведение. 1976. № 6. С. 21–26.
179. Травлеев А. П. Научные основы техногенной биогеоценологии // Биогеоценологические исследования техногенных ландшафтов степной Украины. Днепропетровск: ДГУ, 1989. – С. 4–9.
180. Травлеев А. П., Білова Н.А., Зверковський В.М. Теоретичні основи лісової рекультивації порушених земель у Західному Донбасі на Дніпропетровщині // Ґрунтознавство. 2005. Т. 16, № 1–2. С. 19–29.
181. Узбек І.Х. Еколого-біологічна оцінка едафотопів техногенних ландшафтів степової зони України (на прикладі Нікопольського марганцеворудного басейну): автореф. дис. ... докт. біол. наук: 03.00.16 Дніпропетровськ, 2001. 36 с.

182. Устиновская Л.Т. Степное лесоразведение. М.: Лесная промышленность, 1979. 288 с.
183. Хлизіна Н.В. Аспекти теорії літофільних сукцесій // Проблеми екології та екологічної освіти. Матеріали I Міжнародної наукової конференції. – Кривий Ріг: І.В.І., 2002. С. 169–170.
184. Хлизіна Н.В. Літофільні сукцесії на відвалах гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу: теоретичний підхід // Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель. Випуск 7 (32). Д.:РВВ ДНУ. 2003. С.140–144.
185. Хлизіна Н.В., Паранько І.С. Геохімічний контекст типології літоекотопів та їх фітоіндикація // Грунтознавство, 2005. Т. 6, № 1–2. С. 67–75.
186. Хлизіна Н.В. Літофільні сукцесії в скельних екотопах відвалів гірничозбагачувальних комбінатів Кривбасу // Грунтознавство, 2007. Т. 8, № 3–4. С. 57 – 65.
187. Царик И.В., Жилиев Г.Г., Малиновский К.А. Некоторые аспекты пространственной организации сообществ и популяций растений // Экологія та ноосферологія. 1995. Т.1, № 1–2. С. 91–98.
188. Чайка В.Е., Чуприна Т.Т. Природна рослинність гірничорудних відвалів Кривбасу // Інтродукція та акліматизація рослин на Україні. 1976. Вип. 9. С. 26–30.
189. Шанда В.І., Ворошилова Н.В., Шанда Л.В. Теоретичні аспекти промислової ботаніки // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2011. Вип. 16, № 2. С. 10–20.
190. Шанда В.І., Маленко Я.В. Потенційні можливості самозаростання відвалів Кривбасу // Матеріали Всеукраїнської конф. «Охорона довкілля: екологічні,

медичні, освітянські аспекти» (11–12 грудня 1997 р., м. Кривий Ріг). Кривий Ріг: КДП, 1997. Ч. I. С. 58–67.

191. Шевчук Н.Ю. Особливості просторової структури, флористичної подібності та фітоценотичної активності трав'яних видів рослин у лісонасадженнях та природних степових угрупованнях Південного Криворіжжя // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Біологія». 2018. Т. 31. С. 39–50.
192. Шеляг-Сосонко Ю.Р., Дидух Я.П. Ялтинский горно-лесной государственный заповедник. К.: Наук. думка, 1980. 184 с.
193. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1964. 441 с.
194. Шилова И.И. Естественное зарастание породных отвалов некоторых предприятий цветной металлургии Урала и Сибири // Проблемы рекультивации земель в СССР. – Новосибирск: Наука, 1974. С. 165–172.
195. Шиманюк А.П. Дендрология. М.: Лесная промышленность, 1967. 334 с.
196. Шиманюк А.П. Естественное возобновление на концентрированных вырубках (по исследованиям в сосновых лесах таежной зоны европейской части СССР). – М.: Изд-во АН СССР, 1955. 355 с.
197. Шишкин М.А. Фенотипические реакции и эволюционный процесс. (Еще раз об эволюционной роли модификаций) // Экология и эволюц. теория. М.: Наука, 1984. С. 196–216.
198. Шкарлет О.Д. Влияние дымовых газов на формирование репродуктивных органов сосны обыкновенной (на примере одного из медеплавильных комбинатов Урала): автореф. дис. на соискание учен. степени канд. биол. наук спец. Свердловск. 1974. 27 с.

199. Шмальгаузен И.И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука, 1968. 224 с.
200. Щепотьев Ф.Л. Дендрология. К: Выща школа, 1990. 287 с.
201. Щербань М.И. Микроклиматическое районирование. Природа Украинской ССР. Климат. – Киев: Наук. думка, 1984. С. 202–213.
202. Юшук Е.Д. Некоторые изменения почв под лесной растительностью в техногенных ландшафтах Криворожского железорудного бассейна // Биоценологические исследования степных лесов, их охрана и рациональное использование. Днепропетровск: ДГУ, 1982. С. 95–104.
203. Яблоков А.В. Популяционная биология. М.: Высш. шк., 1987. 204 с.
204. Ярков С.В. Особливості сукцесій 8–15-річних відвалів Кривбасу // Техногенні ландшафти: структура функціонування, оптимізація. Матеріали I Всеукраїнської конференції. Кривий Ріг, 1996. Ч. III. С. 32.
205. Ярков С. В. Розвиток мішаних за субстратом 20-40-річних відвальних ландшафтів Криворіжжя // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер.: Географія. 2013. № 2. С. 23–30.
206. Brown G. R. Flowering and seed production in grafted clones of Scotch pine // *Silvae Genet.* 1971. Vol. 20, № 1. P. 36–41.
207. Caron G.E., Powell G.R. Cone size and seed yield in young *Picea mariana* tress // *Can. J. Forest Res.* 1989. Vol. 19, № 3. P. 351–358.
208. Dallaire K., Skousen J., Schuler J. Height of three hardwood species growing on mine sites reclaimed using the forestry reclamation approach compared to natural conditions // *J. of Amer. Soc. of Mining and Reclamation.* 2016. Vol. 5, № 2. P. 20–35.

209. Davis B.J. Disk electroforesis. II. Methods and applications to human serum proteins // *Ann. N.J. Acad. Sci.* 1964. Vol. 121. P. 67–75.
210. Frouz J., Franklin J.A. Vegetation and soil development in planted pine and naturally regenerated hardwood stands 48 years after mining // *J. of Amer. Soc. of Mining and Reclamation*. 2014. Vol. 3, № 2. P. 21–40.
211. Helm Dot. Usibelli vegetation studies // *Agroborealis*. 1999. Vol. 31, № 2. P. 7.
212. Houston D.B., Dochinger L.S. Effect of ambient air pollution on cone seed and pollen characteristics in eastern white and red pines // *Environ. Pollut.* – 1977. Vol. 26. P. 1–5.
213. Jurasek A. Vpliv znečistení ovzduší na plodivost smrkových porostu // *Lesn. Prace*. 1982. R. 61. S. 492–503.
214. Klauck E.-J. Robinienbestände auf Bergehalden aus karbonischem Schiefer im Saarland // *Mainz. Naturwiss. Arch.* 1999. 37. S. 105–118.
215. Kozłowski T.T. Growth and Development of Trees // Vol. II. Cambial Growth, Root Growth and Reproductive Growth. N.Y.: Academic Press, 1971. 514 p.
216. Lambers H., Poorter H. Inherent variation in growth rate between higher plants: A search for physiological causes and ecological consequences // *Advances in ecological research*. L.: Acad. Press, 1992. Vol. 23. P. 188–242.
217. Limstrom G.F. Forestation of strip-mined Land in Central States. Washington: Department of Agriculture. 1960. 166 p.
218. Mejnartowicz L.E., Lewandowski A. Effects of fluorides and sulfur dioxide on pollen germination and growth of the pollen tube // *Acta Soc. Bot. Pol.* 1985. Vol. 54. P. 125–129.

219. Monteleone A., Skousen J., McDonald L., Schuler J., Pomp J., French M., Williams R. Evaluation of small tree and shrub plantings on reclaimed surface mines in West Virginia // *J. of Amer. Soc. of Mining and Reclamation*. 2017. Vol. 6, № 1. P. 34–61.
220. Nei M. Genetic distance between populations // *Amer. Naturalist*. 1972. Vol. 106. P. 283–292.
221. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Mol. Ecol. Notes*. 2006. 6. P. 288–295.
222. Pezzy D.L., Bousguet J. Genetic diversity and mating system of post-fire and post-harvest black spruce: An investigation using codominant sequence-tagged site (STS) markers // *Canad. J. Forest Res.* 2001. Vol. 31, № 1. P. 32–40.
223. Sidhu S.S., Stainforth R.J. Effects of atmospheric fluorides on foliage and cone and seed production in balsam fir, black spruce and larch // *Can. J. Bot.* 1986. Vol. 64. P. 923–931.
224. Sneath P.H.A., Sokal R.R. Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification. San Francisco: W.H. Freeman, 1973. 573 p.
225. Stutz H.P., Frehner E., Burkart A. Nedelverlust der Fichte und Samenqualitat // *Forstwiss Cbl.* 1987. Bd. 106, № 2. S. 68–77.
226. Swofford D.L., Selander R.B. BIOSYS-1: a FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics // *J. Hered.* 1981. Vol. 72, № 4. P. 281–283.
227. Vidakovic M. Conifers morphology and variation. Zagreb: Graficki zavod Hrvatske, 1991. 765 p.

228. Wright S. The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of Mating // *Evolution*. 1965. Vol. 9. P. 395–420.
229. Wünsche M., Schübert A. Lorenz W.D. Die Bodenformen der Kippen und Halden im Braun Kohlengebiet südlich von Leipzig. *Z. // Landeskultur.*, 1970. Bd. 1, № 5. S. 317–338.
230. Wysocki W.L. Dokumentacja geologiczna dla potrzeb rekultywacji // *Gorn. odkryw.* 1971. 13, № 3. S. 221–225.
231. Zając E., Klatka S., Zarzycki J. Distribution of woody vegetation on soda waste dumps in relation to spatial variation in selected parameters of the mineral cover // *J. of Ecol. Engineering*. 2016. Vol. 17, № 5. P. 49–56.
232. Zimny H., Zukowska-Wieszerek D. Physiological consequence of the toxious influence of urban agglomerations on stress // *Ann. agr. univ. sggwar. hort.* 1989. № 15. P. 43–47.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Таблиця 1.1

Частоти алелів, фактична (H_o) та очікувана (H_e) гетерозиготності за 20 локусами в самосіві сосни кримської на відвалах Криворіжжя та в популяціях Гірського Криму

Локус	Алель Гетерози- готність	КРИМ		КРИВБАС	
		Природні популяції		Природне відновлення	
		Нікіта	Долосси	на згарищах	на залізорудному відвалі
		N – 31*	19	22	23
Gdh	Null	0,000	0,000	0,000	0,022
	0.75	0,048	0,000	0,000	0,000
	1.00	0,920	1,000	1,000	0,978
	1.12	0,032	0,000	0,000	0,000
	H_o	0,129	0	0	0,043
	H_e	0,150	0	0	0,043
Got-1	1.00	1,000	1,000	0,932	1,000
	0.90	0,000	0,000	0,068	0,000
	H_o	0	0	0,136	0
	H_e	0	0	0,127	0
Got-2	1.00	0,468	0,395	0,477	0,543
	1.12	0,532	0,605	0,523	0,457
	H_o	0,613	0,579	0,409	0,565
	H_e	0,498	0,496	0,499	0,496
Got-3	0.60	0,016	0,026	0,000	0,000
	1.00	0,919	0,974	0,932	0,804
	1.50	0,065	0,000	0,068	0,196
	H_o	0,161	0,053	0,136	0,391
	H_e	0,151	0,051	0,127	0,315
Sod-1,2,3	1.00	1,000	1,000	1,000	1,000
Sod-4	1.00	1,000	1,000	1,000	1,000
Mdh-2	0.90	0,000	0,053	0,000	0,000
	1.00	0,984	0,921	0,977	0,978
	1.08	0,016	0,026	0,023	0,022
	H_o	0,032	0,158	0,045	0,043
	H_e	0,031	0,148	0,045	0,043
Mdh-3	0.83	0,016	0,026	0,000	0,000
	0.86	0,807	0,474	0,591	0,674
	0.94	0,000	0,053	0,000	0,000
	1.00	0,177	0,421	0,409	0,326
	1.15	0,000	0,026	0,000	0,000
	H_o	0,258	0,684	0,500	0,217
	H_e	0,317	0,439	0,483	0,439

Продовження таблиці 1.1

Локус	<u>Алель</u> Гетерози- готність	КРИМ		КРИВБАС	
		Природні популяції		Природне відновлення	
		Нікіта	Долосси	на згарищах	на залізорудному відвалі
		N – 31*	19	22	23
Mdh-4	0.90	0,048	0,158	0,000	0,000
	1.00	0,484	0,632	0,728	0,652
	1.20	0,113	0,132	0,136	0,130
	3.50	0,355	0,078	0,136	0,218
	Ho	0,452	0,526	0,227	0,348
	He	0,625	0,552	0,433	0,510
Dia-1	Null	0,048	0,026	0,000	0,000
	0.90	0,000	0,053	0,000	0,000
	1.00	0,710	0,605	0,568	0,826
	1.15	0,242	0,316	0,432	0,174
	Ho	0,452	0,474	0,591	0,261
	He	0,435	0,531	0,491	0,287
Dia-2	Null	0,016	0,000	0,000	0,000
	0.90	0,000	0,053	0,046	0,087
	1.00	0,936	0,921	0,886	0,804
	1.10	0,048	0,026	0,068	0,109
	Ho	0,129	0,158	0,227	0,348
	He	0,121	0,148	0,208	0,334
Dia-4	0.90	0,000	0,000	0,000	0,130
	0.95	0,000	0,000	0,045	0,087
	1.00	0,694	0,632	0,591	0,696
	1.10	0,306	0,368	0,364	0,087
	Ho	0,355	0,526	0,545	0,435
	He	0,425	0,465	0,516	0,484
Acp	0.94	0,226	0,184	0,159	0,217
	0.97	0,016	0,026	0,000	0,000
	1.00	0,758	0,790	0,818	0,783
	1.02	0,000	0,000	0,023	0,000
	Ho	0,355	0,421	0,273	0,435
	He	0,374	0,341	0,305	0,340
Adh-1	Null	0,000	0,026	0,000	0,000
	0.89	0,032	0,026	0,000	0,000
	1.00	0,856	0,869	0,841	0,891
	1.05	0,112	0,079	0,159	0,109
	Ho	0,226	0,263	0,136	0,217
	He	0,254	0,237	0,267	0,194

Продовження таблиці 1.1

Локус	<u>Алель</u> Гетерози- готність	КРИМ			КРИВБАС
		Природні популяції		Природне відновлення	
		Нікіта	Долосси	на згарищах	на залізорудному відвалі
		N – 31*	19	22	23
Adh-2	0.90	0,000	0,184	0,068	0,000
	1.00	0,935	0,657	0,910	0,913
	1.10	0,065	0,158	0,022	0,087
	Ho	0,129	0,368	0,091	0,174
	He	0,122	0,510	0,167	0,159
Lap-1	0.95	0,000	0,000	0,159	0,087
	1.00	0,984	0,921	0,841	0,913
	1.05	0,016	0,079	0,000	0,000
	Ho	0,032	0,158	0,318	0,087
	He	0,031	0,146	0,267	0,159
Lap-2	0.95	0,016	0,000	0,136	0,283
	1.00	0,919	0,921	0,818	0,717
	1.05	0,065	0,079	0,046	0,000
	Ho	0,161	0,158	0,364	0,217
	He	0,151	0,146	0,310	0,406
Fdh	Null	0,016	0,000	0,000	0,000
	0.80	0,048	0,026	0,091	0,000
	1.00	0,920	0,974	0,818	0,761
	1.20	0,016	0,000	0,091	0,239
	Ho	0,097	0,053	0,364	0,043
	He	0,093	0,051	0,314	0,364

Примітка: * – кількість вивчених дерев.

Додаток 2

Таблиця 2.1

Частоти алелів, фактична (H_O) та очікувана (H_E) гетерозиготності в природних популяціях *Pinus sylvestris* L. степової зони України та популяції, яка формується на залізорудному відвалі Криворіжжя

Локус	Алель	В (54)	Г (25)	І (23)	ІХ (23)	КР1 (19)	КР2 (25)
Gdh	1.00	0,625	0,560	0,609	0,783	0,789	0,680
	1.12	0,375	0,440	0,391	0,217	0,211	0,320
	H_O	0,500	0,440	0,522	0,348	0,316	0,640
	H_E	0,469	0,493	0,476	0,340	0,333	0,435
Got-1	0.90	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1.00	0,972	0,980	1,000	0,978	1,000	1,000
	1.10	0,009	0,020	0,000	0,022	0,000	0,000
	H_O	0,056	0,040	0,000	0,043	0,000	0,000
	H_E	0,055	0,039	0,000	0,043	0,000	0,000
Got-2	0	0,009	0,081	0,000	0,000	0,000	0,020
	1.00	0,639	0,520	0,652	0,652	0,684	0,440
	1.08	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
	1.12	0,341	0,399	0,348	0,326	0,316	0,520
	1.20	0,009	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000
	H_O	0,481	0,680	0,435	0,522	0,421	0,840
	H_E	0,475	0,564	0,454	0,468	0,432	0,535
Got-3	1.00	0,722	0,600	0,674	0,696	0,605	0,480
	1.15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000
	1.50	0,278	0,400	0,326	0,304	0,369	0,520
	H_O	0,333	0,600	0,565	0,435	0,421	0,480
	H_E	0,401	0,480	0,439	0,423	0,497	0,499
Sod-4	0.90	0,037	0,060	0,065	0,000	0,000	0,000
	1.00	0,963	0,940	0,935	1,000	1,000	1,000
	H_O	0,074	0,120	0,130	0,000	0,000	0,000
	H_E	0,071	0,113	0,122	0,000	0,000	0,000
Mdh-2	1.00	0,980	0,981	0,955	0,935	0,974	0,960
	1.08	0,020	0,019	0,045	0,065	0,026	0,040
	H_O	0,040	0,040	0,091	0,130	0,053	0,080
	H_E	0,039	0,037	0,086	0,122	0,056	0,077
Mdh-3	0	0,030	0,040	0,000	0,022	0,000	0,000
	0.86	0,240	0,440	0,318	0,283	0,184	0,420
	1.00	0,730	0,520	0,614	0,695	0,816	0,560
	1.12	0,000	0,000	0,045	0,000	0,000	0,020
	1.15	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000
	H_O	0,460	0,760	0,591	0,522	0,368	0,640
	H_E	0,409	0,534	0,519	0,436	0,300	0,510

Продовження таблиці 2.1

Локус	Алель	B (54)	Г (25)	I (23)	IX (23)	KP1 (19)	KP2 (25)
Dia-1	0	0,000	0,000	0,000	0,022	0,078	0,000
	0.85	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
	0.90	0,150	0,260	0,432	0,218	0,211	0,140
	1.00	0,650	0,680	0,568	0,717	0,711	0,800
	1.15	0,200	0,000	0,000	0,043	0,000	0,060
	H _O	0,380	0,560	0,409	0,522	0,474	0,400
	H _E	0,515	0,466	0,491	0,436	0,444	0,337
Dia-2	0.90	0,040	0,021	0,000	0,022	0,053	0,100
	1.00	0,870	0,937	1,000	0,935	0,947	0,880
	1.10	0,090	0,042	0,000	0,043	0,000	0,020
	H _O	0,220	0,120	0,000	0,130	0,105	0,240
	H _E	0,233	0,120	0,000	0,123	0,100	0,215
Dia-4	0.90	0,000	0,040	0,000	0,065	0,026	0,020
	1.00	0,950	0,960	1,000	0,935	0,921	0,960
	1.10	0,050	0,000	0,000	0,000	0,053	0,020
	H _O	0,100	0,080	0,000	0,130	0,158	0,080
	H _E	0,095	0,077	0,000	0,122	0,148	0,078
Acp	0.94	0,261	0,180	0,325	0,318	0,236	0,320
	0.97	0,000	0,000	0,075	0,000	0,000	0,000
	1.00	0,729	0,560	0,525	0,523	0,711	0,640
	1.02	0,010	0,260	0,075	0,159	0,053	0,040
	H _O	0,292	0,440	0,600	0,545	0,579	0,640
	H _E	0,400	0,586	0,608	0,600	0,436	0,486
Adh-1	0.89	0,042	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000
	1.00	0,833	0,955	0,841	0,870	0,895	1,000
	1.02	0,094	0,045	0,136	0,065	0,000	0,000
	1.05	0,000	0,000	0,000	0,022	0,105	0,000
	1.08	0,031	0,000	0,000	0,043	0,000	0,000
	H _O	0,333	0,080	0,273	0,261	0,211	0,000
	H _E	0,295	0,086	0,274	0,237	0,188	0,000
Adh-2	0	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000
	0.90	0,146	0,045	0,159	0,022	0,000	0,000
	1.00	0,854	0,955	0,818	0,978	1,000	1,000
	H _O	0,167	0,080	0,273	0,043	0,000	0,000
	H _E	0,249	0,086	0,305	0,043	0,000	0,000
Lap-1	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000
	0.95	0,200	0,040	0,053	0,100	0,026	0,180
	0.97	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,000
	1.00	0,800	0,960	0,921	0,900	0,922	0,780
	1.05	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026	0,040
	H _O	0,360	0,080	0,158	0,200	0,158	0,440

Продовження таблиці 2.1

Локус	Алель	B (54)	Г (25)	I (23)	IX (23)	KP1 (19)	KP2 (25)
Lap-1	H _E	0,320	0,077	0,148	0,180	0,148	0,358
Lap-2	0	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000
	0.95	0,020	0,060	0,000	0,025	0,132	0,020
	1.00	0,930	0,880	0,895	0,925	0,816	0,960
	1.05	0,050	0,040	0,105	0,050	0,053	0,020
	H _O	0,140	0,240	0,211	0,150	0,368	0,080
	H _E	0,132	0,220	0,188	0,141	0,314	0,078