

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

КРАСНОШТАН ОЛЕГ ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 582.475.4:581.5 (477.63)

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

03.00.16 – екологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у відділі інтродукції та акліматизації рослин Криворізького ботанічного саду НАН України.

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Коршиков Іван Іванович,
Криворізький ботанічний сад
НАН України, директор

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор,
Зайцева Ірина Олексіївна,
Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, кафедра фізіології
та інтродукції рослин, професор

кандидат біологічних наук, доцент
Ворошилова Наталія Володимирівна,
Дніпровський державний аграрно-економічний
університет, кафедра екології та охорони
навколишнього середовища, доцент

Захист відбудеться «12» червня 2019 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.051.04 для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара за адресою: 49010, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 72, корпус 17, біолого-екологічний факультет, ауд. 711.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Казакова, 8.

Автореферат розісланий « 10 » травня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук, доцент



А.О. Дубина

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 (Баранник, 1974; Кондратюк та ін., 1976; Зайцев и др., 1977; Скрипник, 2003; Бровко, 2009). 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 (Коршиков та ін., 2002). 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. 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 (Коршиков, Красноштан, 2012).

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 залізорудних 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 фіторекультивациі.

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 залізорудних 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 напряму 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ РОСЛИН В ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

У розділі проведено огляд і аналіз робіт з лісової рекультивації відвальних ландшафтів степової зони України (Бровко, 2009; Травлєєв та ін., 2005; Узбек, 2001 та ін.) та закордонних досліджень (Frouz, Franklin, 2014; Dallaire et al., 2016 та ін.). Показано, що рекультивація фактично є використанням адаптивних можливостей видів в екстремальних умовах існування, для багатьох – за межами природного ареалу (Зверковский, 1987; Коршиков и др., 2014 та ін.). Висвітлено специфіку і екологічні аспекти природного відновлення рослинності на техногенно порушених і докорінно змінених територіях. Зазначено, що розкриття біологічних особливостей видів, що забезпечують природне поширення рослин на таких територіях, створює можливості для розробки заходів зі штучного сприяння цим процесам (Коршиков и др., 2012; Мазур, 1997 та ін.). Розкрито методологічні підходи щодо оцінки життєздатності деревних рослин на промислових породних відвалах та специфіки досліджень тих рослин, що самовідновлюються на них.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розділ включає характеристику фізико-географічних умов регіону досліджень та висвітлення особливостей техногенних ландшафтів Криворіжжя.

Експедиційні дослідження проводились впродовж 2005–2016 рр. Моніторингові ділянки закладені на трьох відвалах: Першотравневому та Автовідвалі Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК» та Петрівському відвалі ПрАТ «Центральний ГЗК». Природне відновлення *P. pallasiana* і *P. sylvestris* вивчали на дослідних ділянках, виділених за загальноприйнятою методикою (Сукачев, 1960). На них підраховували кількість самосіву, визначали його вік, морфометричні показники та життєвий стан. В якості умовного контролю використовували насадження обох видів сосни в дендрарії Криворізького ботанічного саду НАН України (КБС). 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.

Для оцінки життєвого стану деревостанів використовували дещо змінену методику В.О. Алексєєва (1990). При дослідженні морфоструктури кореневих систем двох видів сосни керувалися методичними розробками П.К. Красильникова (1960). Аналіз показників насінневої продуктивності здійснювали за методичними розробками Т.П. Некрасової (1986) та М.Г. Романовського (1989). Кількість опадів та потужність і морфологічну будову підстилки визначали за методичними рекомендаціями Л.О. Карпачевського (1968) та Є.Л. Воробейчика (1997).

Для визначення генотипу рослин *P. pallasiana* і *P. sylvestris* використовували як молекулярно-генетичні маркери ізоферменти дев'яти ферментних систем: алкогольдегідрогенази (ADH, К.Ф. 1.1.1.1), форміатдегідрогенази (FDH, К.Ф. 1.2.1.2), малатдегідрогенази (MDH, К.Ф. 1.1.1.37), супероксиддисмутази (SOD, К.Ф. 1.15.1.1), діафори (DIA, К.Ф. 1.8.1.4), кислій фосфатази (ACP, К.Ф. 3.1.3.2), глутаматоксалоацетаттрансамінази (GOT, К.Ф. 2.6.1.1), лейцинамінопептидази (LAP, К.Ф. 3.4.11.1), глутаматдегідрогенази (GDH, К.Ф. 1.4.1.2). Ферменти екстрагували з ендоспермів 7–8 і більше насінин та розділяли у вертикальних пластинках 7,5 %-го поліакриламідного гелю за методикою В.І. Девіса (1964) на приладі ЕЛФ-2 (Трувеллер, Нефедов, 1974).

При статистичній обробці даних застосовували комп'ютерні програми: GenAlEx V.6 (Peakall, Smouse, 2006) та GenRes (Демкович, 2007).

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

Рекультивацийні насадження *Pinus pallasiana* та *P. sylvestris* у Кривбасі створені на двох відвалах – Першотравневому та Автовідвалі. Деревостан *P. sylvestris* на Петрівському відвалі виник спонтанно за рахунок заносу насіння із прилеглого до відвалу (100–300 м) штучного 40-річного насадження. Біля всіх штучних насаджень на відвалах відмічений самосів, тобто, ці два види здатні до натуралізації за межами природного ареалу, навіть в умовах новостворених

техногенних екотопів. На Першотравневому відвалі площа окремих 30–35-річних насаджень *P. pallasiana* складає від 0,025 до 1 га. Мінімальна кількість рослин в цих насадженнях на 100 м² становила 10, максимальна – 25. Переважна більшість рослин в насадженнях на відвалі формує значний врожай шишок. Висота рослин у штучних насадженнях на відвалі варіює від 6 до 12,1 м, інколи перевищує цей показник у дерев з дендрарію КБС – 10,6 м. На відвалі рослини мають менший діаметр стовбура – 10,7–18,1 см, ніж рослини дендрарію: 25,6 см. Діаметр крони у рослин дендрарію КБС дещо більший, ніж у рослин насаджень на відвалі, а охоєність пагонів рослин за 5-бальною шкалою оцінювання, за винятком окремих насаджень, досить подібна. Життєвий стан переважної більшості рослин та самих насаджень *P. pallasiana* є високим (табл. 1).

Таблиця 1

Морфометричні характеристики і життєвий стан насаджень *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі та в дендрарії КБС НАН України

№ ділянки	Площа насаджень, м ²	Загальна кількість дерев на 100 м ² / із них таких, що сформували насіння	Висота, м	Діаметр		Охоєність	Життєвий стан, бал / вік рослин	Кількість самосіву під пологом / його вік
				стовбура, см	крони, м			
1	305	10/7	9,0±0,5	15,4±1,0	3,5±0,2	3,7±0,3	3/30	1/3, 1/8, 3/5
2	180	25/25	6,0±0,38	16,1±0,9	4,1±0,2	3,7±0,2	3/30	39/2
3	625	14/13	6,8±0,4	17,3±1,5	4,1±0,3	3,9±0,2	3/30	3/4, 3/5, 1/8, 3/10
4	600	15/15	8,8±0,5	17,5±1,1	4,3±0,3	3,7±0,2	3/30	1/2
5	5000	18/18	8,2±0,4	18,1±1,0	4,3±0,2	4,1±0,1	3/30	3/2
6	10000	12/12	8,8±0,5	16,3±1,3	3,5±0,2	3,3±0,2	3/30	1/2
7	10000	25/25	11,8±0,3	10,7±0,6	2,7±0,1	3,4±0,1	2/30	0/0
8	10000	25/25	12,1±0,3	13,7±0,7	3,1±0,1	3,5±0,1	3/30	0/0
9	250	14/14	10,6±0,5	25,6±0,9	4,5±0,2	3,9±0,2	3/25	0/0

Примітка. Характеристика ділянок (місце розташування насадження, порода або ґрунт): 1 – третя берма, вершина відвалу, висота 42 м, кварцит; 2 – третя берма, вирівняне плато, кварцит; 3 – третя берма, горбисто-западинний мікрорельєф, кварцит; 4 – друга берма, висота 30 м, кварцит; 5 – друга берма, кварцит; 6 – друга берма, біля підніжжя схилу, кварцит; 7 – південно-східний схил другої берми, кварцит; 8 – південно-східний схил другої берми, кварцит; 9 – дендрарій Криворізького ботанічного саду, чорнозем

Високим життєвим станом на залізорудних відвалах відзначаються дерева *P. sylvestris*. Деревостани цього виду на двох відвалах займають площу 0,035–0,12 га; на 100 м² кількість рослин 14–30-річного віку становить 13–22 особини. Висота дерев варіює від 6 до 16,5 м, діаметр стовбура – 10,4–24,1 см, діаметр крони – 3,4–4,0 м, охоєність становить 4–5 балів. У контрольних 25-річних рослин дендрарію КБС висота сягає 9,3 м, діаметр стовбура – 20,1 см, крони – 4,7 м, охоєність – 4,2

бали. Більшість дерев на досліджених ділянках формують врожай шишок, однак розвиток самосіву під кронами трапляється зрідка. Як і у випадку з *P. pallasiana*, самосів *P. sylvestris* активно розселяється за межами насаджень. У всіх штучних насадженнях обох видів сосен на відвалах були відсутні послаблені або суховерхі дерева з явними ознаками пошкоджень хвої та з короткою тривалістю її життя. На рослинах частково зберігається 3–4-річна хвоя, яка має насичений зелений колір.

У рослин на бермах спостерігався інтенсивніший радіальний приріст стовбура, ніж у дерев на схилах відвалів.

Кількість мортмаси в підстилці кожного насадження сосни 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 залізородних відвалах Криворіжжя утворюють значний запас органічних речовин і тим самим активізують ґрунтоутвірні процеси, покращують еколого-едафічні умови для поселення інших живих організмів.

Відмінності в морфології кореневої системи *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* на залізородних відвалах і в природних умовах. У 1–3-річних сіянців *P. pallasiana* і *P. sylvestris* коренева система з добре вираженим центральним коренем проникає в породу на глибину до 15 см (рис. 1, а). В обох видів сосен 4–7-річного віку в умовах відвалу значно активніше розвиваються бокові горизонтальні, ніж вертикальні корені. У рослин цього віку формується змішана поверхнева коренева система з глибиною проникнення в породу відвалів до 30 см (рис. 1,б).



Рис. 1. Особливості морфоструктури кореневої системи самосіву у *Pinus pallasiana* на відвалах Криворіжжя: а – у рослин 1-3-річного віку; б – у рослин 5-річного віку

Бокові корені виходять за межі крони рослин на відстань 50 см і більше. Характерним для обох видів сосни є те, що бокові горизонтальні корені здебільшого формуються у поверхневому шарі породи (1–5 см). У сіянців, вік яких перевищує 10 років, стрижневий корінь не проникає глибше 30–40 см, проте розвиваються горизонтальні шнуроподібні поверхневі корені, довжина яких може досягати 2 м. Характерним також є те, що корені, які поглинають воду і поживні речовини, на бокових коренях у вигляді мичок формуються не рівномірно: інколи вони відсутні на відрізках 20–100 см по довжині цих коренів. Ці мички утворюються в понижених місцях, де довше зберігається волога від танення снігу та дощів. Нерівномірність формування кореневої системи у самосіву сосни на відвалах пов'язана із значною неоднорідністю субстрату за механічним складом. Бокові корені краще розвиваються у відносно сприятливих умовах, наприклад, у западинах, де накопичується волога і намівається дрібнозем, у якому більше поживних речовин, ніж у щербистій породі. У такій ендогенній регуляції росту і розвитку кореневої системи самосіву *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* проявляється адаптивна еколого-компенсаторна раціоналізація онтогенезу рослин у вкрай гетерогенних і несприятливих едафічних умовах залізорудних відвалів. Поверхнєве залягання кореневої системи у сіянців сосен в умовах відвалів пояснюється тим, що у верхньому шарі породи відбуваються процеси фізико-хімічного вивітрювання під впливом вологи, повітря і перепаду температури. Внаслідок цього верхній шар породи більш структурований, в ньому накопичується більше доступних для рослин поживних речовин і краще зберігається волога. Породи в горизонті 20–40 см і глибше мало трансформована, тут не відбуваються процеси фізико-хімічного вивітрювання, а тому цей горизонт несприятливий для розвитку кореневої системи рослин.

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

В обох видів сосен в умовах відвалу перші шишки з'являються на 7-річних рослинах. Ранній вступ рослин до репродуктивної фази розвитку свідчить про екстремальність умов зростання. По досягненню 12–15 років у більшості рослин відзначається висока репродуктивна активність, хоча в насадженнях є дерева, які за період своєї життєдіяльності не сформували шишок. Під пологом окремих рослин *P. pallasiana* в опаді було знайдено до 1500 шишок, що продукувало дерево за весь період свого генеративного розвитку. Це навіть більше, ніж у рослин дендрарію ботанічного саду (максимум 1418 шишок). Кількість продуктивних лусок (наявність у них реплік насіння) у фертильному шарі шишок у дерев на Першотравневому відвалі була у всіх насадженнях більшою на 4,4–37,1 %, ніж у шишках рослин дендрарію. Фактична насіннева продуктивність у дерев з відвальних насаджень у деяких випадках приблизно дорівнювала цьому показнику у рослин з дендрарію, або ж була більшою на 34,0–46,2 %, що свідчить про їх високу репродуктивну активність, за якою вони практично не поступаються рослинам з дендрарію ботанічного саду. Це ствердження справедливо також щодо *P. sylvestris*. Слід

відмітити, що за відносною кількістю насіння від потенційно можливої його кількості в шишках опаду, рослини відвалу і дендрарію відрізнялись усього на 2,6–7,2 %. Оскільки навколо насаджень *P. pallasiana* і *P. sylvestris* на відвалах відмічено значну кількість самосіву, можна стверджувати, що дерева обох видів сосен в цих умовах формують повноцінне насіння високої якості (табл. 2).

Таблиця 2

Кількість насінних зачатків у фертильному шарі і насінин у розрахунку на одну шишку у самосіву *Pinus pallasiana* та *P. sylvestris* на Першотравневому і Петрівському відвалах та у рослин з прилеглих насаджень, 2009 рік

Тип деревостану (вік)	Кількість дерев, шт.	Кількість фертильних насінних зачатків, шт.	Кількість насінин у одній шишці, шт.		
			повних	порожніх	недороз- винених
Pinus pallasiana					
Самосів (7–12 років)	25	53,5±0,8	21,9±0,8	3,2±0,2	3,6±0,2
Насадження (30-35 років)	25	61,1±0,9	42,4±0,8	5,2±0,2	4,9±0,2
Pinus sylvestris					
Самосів (10–16 років)	25	32,2±0,5	16,4±0,4	5,2±0,2	4,1±0,1
Насадження (25-30 років)	25	61,1±0,6	14,3±0,5	1,9±0,1	1,9±0,1

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.

Як популяція на відвалі, так і самосів на згарищах, за 7–8 локусами мали суттєву алельну і генотипову гетерогенність порівняно з кримськими природними популяціями. Самосів на відвалі і на згарищах відрізнявся генетично тільки за трьома локусами, тобто їх генетичні структури були ближче, ніж з природними популяціями. Це підтверджує і коефіцієнт генетичної дистанції Нея (D_N) – 0,014, а між локальною популяцією на відвалі і природними популяціями Криму (D_N) = 0,015–0,025. При меншій кількості алелів на локус у рослин популяції на відвалі, вона за рівнем середньої очікуваної (H_E) і наявної (H_O) гетерозиготності не завжди поступалась популяціям з Криму. У популяції з відвалу відмічена найбільша нестача гетерозигот – 16,6 %.

Локальні популяції *P. sylvestris* на двох Криворізьких залізрудних відвалах мали дещо меншу кількість поліморфних локусів і кількість алелів на локус, ніж три з чотирьох природних популяцій Луганської і Харківської областей.

При формуванні популяції *P. sylvestris* 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 Першотравневому відвалі.

В одній із популяцій на відвалі виявлено найвищий рівень наявної гетерозиготності ($H_o = 0,253$), а в цілому для популяції був характерний надлишок гетерозигот – 6,9–26,5 %. Середнє значення D_N між природними популяціями було 0,010, а між ними і популяціями на відвалах – 0,013. Тобто, як у випадку з *P. pallasiana*, у *P. sylvestris* на залізородних відвалах Криворіжжя формуються локальні популяції з обмеженою алельною різноманітністю порівняно з природними популяціями (табл. 3). Однак за іншим показником – гетерозиготністю, якій більш точно характеризує генетичну мінливість, розбіжності між ними менш значні.

Таблиця 3

Значення основних показників генетичного поліморфізму у *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* у природних популяціях Криму і Степу та в локальних популяціях на залізородних відвалах Криворіжжя

Місце знаходження популяцій	Обсяг вибірки, шт.	Частка поліморф- них локусів, P ₉₉	Середня кількість алелей на локус, A	Середня гетерозиготність, M±m		Індекс фікса- ції Райта, F
				очікувана, H _E	наявна, H _O	
<i>Pinus pallasiana</i>						
Смт Нікіта, Крим	31	0,750	2,350	0,193±0,014	0,179±0,014	0,073
Долоси, Крим	19	0,700	2,350	0,220±0,018	0,229±0,018	-0,041
Згарище, Крим	22	0,750	2,100	0,228±0,018	0,218±0,017	0,044
Залізородний відвал	23	0,750	1,950	0,229±0,018	0,191±0,016	0,166
<i>Pinus sylvestris</i>						
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
У середньому по природних популяціях	125	0,833	2,944	0,230±0,008	0,227±0,008	0,013
Петрівський відвал (КР-1)	19	0,667	2,056	0,189±0,019	0,202±0,019	-0,069
Автовідвал (КР-2)	25	0,661	2,111	0,200±0,016	0,253±0,016	-0,265
У середньому по локальних відвальних популяціях	44	0,667	2,333	0,201±0,012	0,231±0,013	-0,149

Отже, на докорінно техногенно порушених територіях Криворіжжя – залізородних відвалах – спонтанно формуються локальні популяції *P. pallasiana* і *P. sylvestris*, які близькі за показниками генетичної мінливості до природних популяцій цих видів. Це є свідченням, що при розселенні *P. pallasiana* і *P. sylvestris*

на залізорудних відвалах не відбувається чіткого односпрямованого відбору на користь певних генотипів.

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

Стабільно формуючи врожай шишок, дерева *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі в невеликих розрізаних насадженнях на відвалах забезпечують постійне покриття вільної території навколо них у радіусі 300–500 м необхідною кількістю насіння для самовідновлення. Площа природного розселення *P. pallasiana* навколо материнських насаджень на Першотравневому відвалі становить 0,043–1,0 га, що в 2,4–21,5 рази більше площі насаджень. Навколо насаджень на південному схилі третьої берми з чисельністю в 25 рослин формується мікросайт площею 2700 м², а навколо насаджень близько 700 особин на південно-східному схилі берми II – територія, зайнята самосівом, складає 8500 м². 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.

Найбільше в мікросайтах самосіву на Першотравневому відвалі були представлені три-, чотири- і семирічні рослини, а найменше – дво- і десятирічні (табл. 4).

Таблиця 4

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

Кількість самосіву *P. pallasiana* в цих мікросайтах у різні роки відрізнялась у 1,4–35,8 разів. Очевидно, це свідчення різного ступеню сприяння природно-кліматичних факторів року процесам відновлення сосни на відвалі. Переважна більшість самосіву *P. pallasiana* на залізорудному відвалі не уражена хворобами і шкідниками. Відновлення *P. pallasiana* далеко не щорічно відбувається в природних популяціях Криму (1 раз на 5–7 років) і зовсім відсутнє в штучних насадженнях степової зони.

На Першотравневому відвалі, де мало насаджень *P. sylvestris*, знайдено найбільший за площею (3440 м²) мікросайт із самосіву, який виник навколо групи з 25 рослин. Площа мікросайту в 27,5 разів більша за ту, що займали материнські рослини (табл. 5).

Таблиця 5

Топологічні і кількісні характеристики насаджень
Pinus sylvestris та мікросайтів, що формуються навколо них, на двох відвалах
Першотравневого кар'єру

Місце розташування рослин на відвалі	Кількість рослин, шт		Площа, м ²		Частка материнських рослин, що формують насіння, %
	материнських	самосіву на 100 м ²	материнські рослини	самосів	
Першотравневий відвал: берма I, південно-східна частина	25	5,4	125	3440	90
Першотравневий відвал: берма II, південно-східний схил	4	5	20	120	100
Автовідвал: західний схил	10	26,7	50	620	100

Однак чисельність самосіву в двох мікросайтах у південно-східній частині цього відвалу була низькою – 5,0–5,4 особини на 100 м². Значно більший за площею мікросайт (~ 2 га) *P. sylvestris* знайдено на Петрівському відвалі, де посадки цього виду ніколи не проводили. Насіння на відвал потрапляє з прилеглого насадження, а відновлення *P. sylvestris* відбувається від основи відвалу до його пласкої вершини. Самосів складається з 1–20-річних рослин. Чисельність 7–20-річних рослин, які формують врожай шишок, становить 30–50 особин на 1 га. Тобто, на цьому відвалі, як і на інших, відбувається процес формування локальних інтразональних популяцій *P. sylvestris* і *P. pallasiana* (рис. 2), оскільки у відновленні приймають участь рослини самосіву, які досягли репродуктивної фази розвитку.



Рис. 2. Молоді рослини (самосів): а – *Pinus pallasiana* на Першотравневому відвалі; б – *P. sylvestris* на Петрівському відвалі

Однак далеко не все насіння сосен, що тим чи іншим способом потрапляє на залізорудні відвали, дає сходи. Якщо це активно і щорічно відбувалось навколо дерев з високою насіннєвою продуктивністю, спостерігалось б значно чисельніше відновлення. Очевидно, в цьому новому, дуже гетерогенному едафічному середовищі, частина насіння не потрапляє в сприятливі для наступного проростання і розвитку умови. Проте наявність серед самосіву сосен із висотою 10–12 м і діаметром стовбура 15–20 см свідчить, що на відвалах нерідко складаються досить сприятливі умови для їх росту.

Відмінності у відновленні, морфометрії і насіннєвій продуктивності самосіву *P. pallasiana* на залізорудному відвалі і на згарищах в Гірському Криму. Відновлення *P. pallasiana* в природних популяціях Криму відбувається тільки у «вікнах», які утворюються внаслідок загибелі вікових дерев з природних причин. На трьох згарищах біля смт Нікіта (площею 2–5 га) відновлення з підвищеною активністю проходило в перші шість років (рис. 3, а): від 5,8 до 24,0 % загальної кількості рослин, знайдених на час спостереження. На шостий рік відбувся спад відновлення (9,6 %), а в наступні роки – його згасання (1,0–5,8 %). За перші шість років на згарищах поселилося 84,6 % молодих сосен. Динаміка колонізації *P. pallasiana* залізорудного відвалу інша: активне поселення відбувалося на 4-й і 7–8-й роки (рис. 3, б), склавши 18,3–30,4 % від зафіксованих рослин на момент досліджень. Слід зазначити, що на відвалі, порівняно із згарищами, поселення *P. pallasiana* відбувається щорічно і частка 2–5-річних сіянців становить 64,7 %, на згарищах 2–8-річних – 15,4 %.

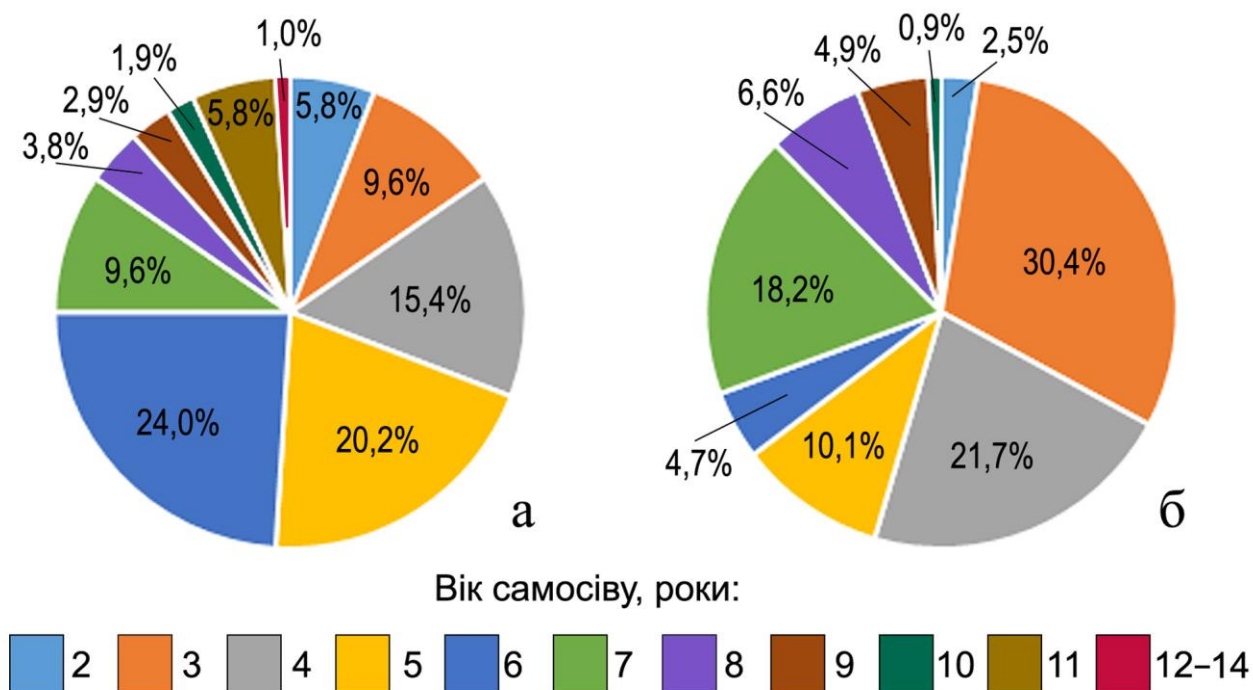


Рис. 3. Вікова структура самосіву *Pinus pallasiana* (2-14 років): а – на згарищах в природній популяції Гірського Криму; б – навколо насаджень на залізорудному відвалі Криворіжжя

Рослини самосіву *P. pallasiana* 7–10-річного віку на Першотравневому відвалі відзначались кращим ростом, ніж сіянці того ж віку на згарищах у Криму (табл. 6). Десятирічні деревця самосіву на відвалі у середньому були на 94 см вище, а діаметр стовбура – на 2,5 см більше, ніж у рослин того ж віку на згарищах в природній популяції. До того ж у рослин на згарищах довжина бокових 1–3-річних пагонів була на 50–60 % менше, а довжина 1–4-річної хвої – менша на 24–43,3 %. У цілому охвоєність пагонів у молодих рослин на відвалі була вищою, ніж у рослин згарищ, у котрих меншою на 50,6–63,7 % була маса хвої.

Таблиця 6

Морфометричні характеристики 7–10-річного самосіву *Pinus pallasiana* на згарищах у Гірському 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

П р и м і т к а. M±m – середнє значення з похибкою, CV – коефіцієнт варіації.

Водночас самосів *P. sylvestris* на Петрівському залізорудному відвалі дещо переважав 35–40-річні рослини біля відвалу за насінневою продуктивністю. Рослини 9–10-річного віку на цьому відвалі мали середню висоту 254–275 см, діаметр стовбура у основи – 3,1–5,1 см та річний приріст головного пагону – 37,5–50,0 см (табл.6).

Слід відзначити, що у найбільш сприятливих едафічних умовах відвалів: у низинах, неглибоких западинах, куди наливається дрібнозем, *P. pallasiana* і *P. sylvestris* утворюють стійкі групи рослин з *Betula pendula* Roth, *Populus italica* (Du Roi) Moench, *Populus alba* L., *Fraxinus excelsior* L., де не відмічено пригнічення одного виду іншим. Прикметно, що на невеликих згарищах *P. pallasiana* у відвальних екотопах активно відновлюється *B. pendula* з наступним формуванням сосново-березових парцел.

ФІТОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРИДАТНОСТІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ВІДВАЛІВ ДО БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ

Практично на всіх залізорудних відвалах Криворіжжя спонтанно поселяються трав'яні і деревні рослини, внаслідок чого формується мозаїчний рослинний покрив. 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) малоприсадибні для озеленення (один стійкий вид), 3) присадибні для найбільш життєздатних видів (2–3 стійких види), 4) присадибні для озеленення (3–5 видів), 5) доступні для масового озеленення (більше 5 видів). Ці п'ять категорій лісоприсадибності наносяться на карту відвалу (рис. 4), і в подальшому її використовують в озелененні відвалу.

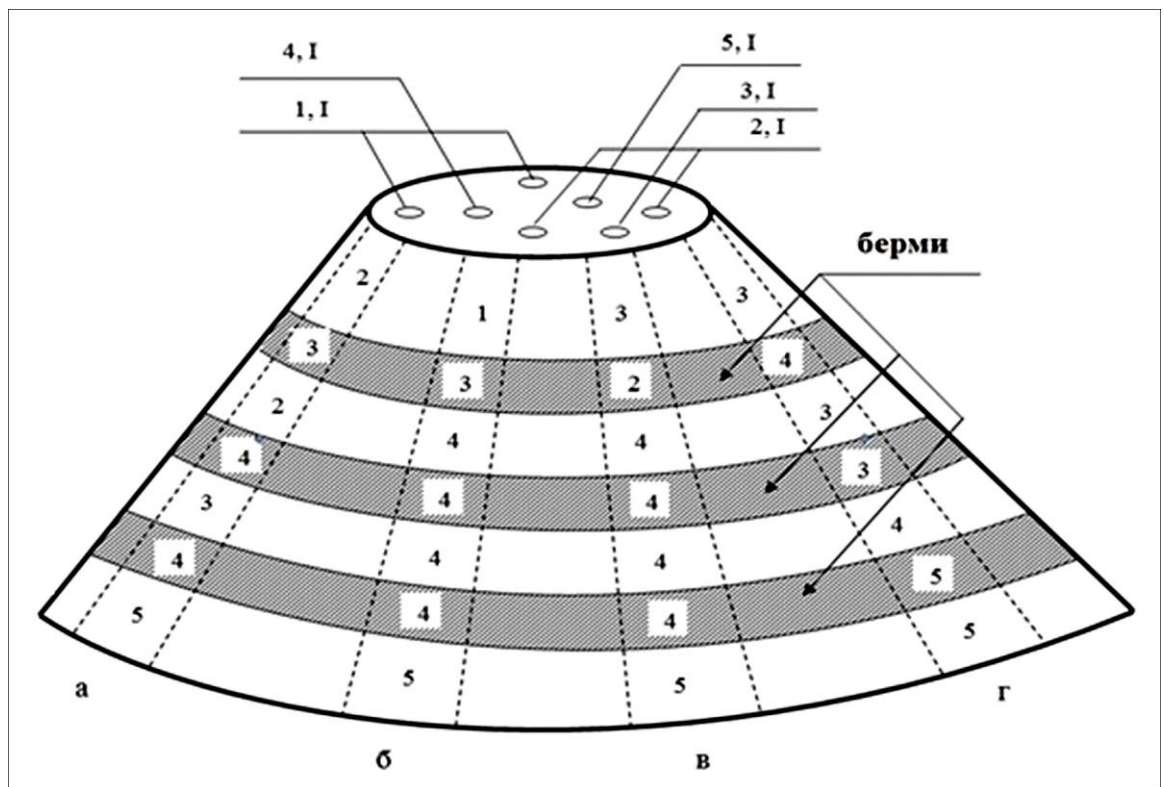


Рис. 4. Маркерна карта лісоприсадибності модельного залізорудного відвалу, 1-5-категорії лісоприсадибності; а, б, в, г – дослідні ділянки; I – вивали породи

В едафотобах другої – п'ятої категорії можлива посадка *P. pallasiana* і *P. sylvestris*, на яких через 7–8 років сформуються дерева, що своїм насінням «засіють» вільні території відвалу. Таким методом практично можна сприяти процесу природного заліснення відвалу та значно його прискорити.

Для цього дворічні сіянці обох видів ранньою весною слід висаджувати як на бермах, так і на схилах відвалів, які були виведені з експлуатації 5–7 років тому.

Посадки треба проводити групові з кількістю рослин у групі від 50 до 100 особин з інтервалом між рослинами у 2 м, а між групами – не менше 50 м. Рекомендується групи розміщати по поверхні відвалів у шаховому порядку, а посадки проводити на територіях з різним механічним складом породи: від піску до великоуламкових фракцій скельних порід. У останньому випадку рослини висаджуються у проміжки між камінням. Для озеленення окремих ділянок відвалу в посадковий матеріал можна брати з наявного загущеного самосіву навколо уже існуючих соснових насаджень. Не суцільна висадка рослин на відвалах дозволяє суттєво зекономити посадковий матеріал. Таким чином створюються передумови для формування на промислових відвалах екосистем, здатних до саморозвитку і самопідтримання.

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 ектопах, 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 публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографія:

1. Коршиков И.И., Красноштан О.В. Жизнеспособность древесных растений на железорудных отвалах Криворожья – Донецьк: 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 // Інтродукція рослин. – 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 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. (*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 // Интродукция растений. – 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 // Интродукция растений. – 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.: ЛІРА, 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. № и 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 І.І., **Красноштан О.В.**, Терлига 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 І.І., Жуков С.П., Терлига 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 І.І., Терлига 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 І.І., Мазур А.Е., Данильчук Н.М., Терлига 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 І.І., 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 І.І., **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.** Биозкологические 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 И.И., **Красноштан О.В.**, Шевчук Н.Ю. Антропогенный вплив на формування підстилки в сосновых 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 И.И., 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 напряму 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 И.И., Шевчук Н.Ю., Гусейнова Е.Р., **Красноштан О.В.**, Артющенко 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*).

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, 2019.

Дисертацію присвячено комплексному аналізу життєздатності сосни кримської (*Pinus pallasiana* D. Don) і сосни звичайної (*P. sylvestris* L.) на залізорудних відвалах Криворіжжя. Показано, що обидва види сосен відзначаються

високою стійкістю в умовах відвалів і на цей час їх цілком здорові насадження досягли 40 років. 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. Вивчення особливостей формування кореневої системи *Pinus pallasiana* і *P. sylvestris* показало, що рослини утворюють поверхневу кореневу систему, яка не проникає в глибину субстрату більш ніж на 30–40 см, але характеризується добре розвиненими горизонтальними бічними коренями, що далеко виходять за проекцію крони. Така адаптивна реакція рослин дозволяє їм найповніше освоювати поверхневий шар субстрату, в якому завдяки фізико-хімічному вивітрюванню накопичується більше доступних елементів живлення.

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. Розроблено методичний підхід з оцінки лісопридатності відвалів до біологічної рекультивациі. 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.

АННОТАЦИЯ

Красноштан О.В. Эколого-биологические детерминанты успешности произрастания видов рода *Pinus* L. на железорудных отвалах Криворожья. – Квалификационная научная работа. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 «Экология». – Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2019.

Диссертация посвящена комплексному анализу жизнеспособности сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) и сосны обыкновенной (*P. sylvestris* L.) на железорудных отвалах Криворожья.

Показано, что оба вида сосен отличаются высокой устойчивостью в условиях отвалов и в настоящее время их вполне здоровые насаждения достигли 40 лет. В этих плотных насаждениях высота растений достигает 12–15 м, а диаметр ствола – 20 см. Вывявлен феномен спонтанного формирования интродукционных популяций этих видов вокруг существующих на отвалах насаждений в радиусе 300–500 м или за счет заноса семян из прилегающих к отвалам насаждений. Распространение семян сосен, как и их возобновление, происходит в разных направлениях, и молодой самосев 1–20 лет встречается на разных участках (склоны, бермы, вершина отвала),

отличающихся по механическому и физико-химическому составу субстрата. Размеры отдельных популяционных локусов, образующихся за счет ежегодного возобновления сосен в последние 15–20 лет, составляют ~ 1 га, а плотность самосева разного возраста достигает 50–70 особей на 100 м². В отдельные, наиболее благоприятные годы возобновление сосен на отвалах носит массовый характер. В условиях отвалов растения обоих видов на 7-й год формируют женские шишки и в последующие годы отличаются высокой репродуктивной активностью. В опаде вокруг 30–35-летних растений сосен насчитывается до 1500 шт. шишек урожаев разных лет. В этот период растения образуют поверхностную корневую систему, которая не проходит в породы глубже 30–40 см. Стержневой корень у растений развит слабо, зато активно растут горизонтальные шнуровидные корни, на которых спорадически образуются мочки из сосущих корней.

Площадь природного расселения *P. pallasiana* вокруг материнских насаждений на Первомайском отвале составляет 0,043–1,0 га, что в 2,4–21,5 раза больше площади самих насаждений. Вокруг насаждения на южном склоне третьей бермы с численностью в 25 растений формируется микросайт площадью 2700 м², а вокруг насаждения около 700 особей на юго-восточном склоне второй бермы территория, занятая самосевом, составляет 8500 м².

Установлено, что в интродукционных популяциях сосен на отвалах несколько меньше аллельное разнообразие, однако по уровню гетерозиготности они не уступают природным популяциям Горного Крыма и Степи.

Различия в генетической структуре микропопуляции *P. pallasiana* на отвале по сравнению с природными популяциями и подростом на пожарищах являются существенными. В условиях отвала идет процесс адаптации популяции с формированием генетического оптимума в едафичных и природно-климатических условиях, не характерных для существования вида.

Разработан методический подход по оценке лесопригодности отвалов к биологической рекультивации. Запатентован способ использования этих сосен для ускорения процессов их естественного возобновления на железорудных отвалах Криворожья.

Ключевые слова: *Pinus pallasiana*, *P. sylvestris*, жизнеспособность, изменчивость, интродукционные популяции, железорудные отвалы, Криворожье.

ABSTRACT

Krasnoshtan O.V. Ekobiological determinants of a successful growth of the species genus *Pinus* L. at the iron ore dumps. – Qualifying scientific work. Manuscript.

Dissertation on the competition of graduate degree of candidate of biological sciences on specialty 03.00.16 «Ecology». – Oles Honchar Dnipro National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2019.

This thesis is devoted to a comprehensive analysis of the viability of Crimean pine (*Pinus pallasiana* D. Don) and Scots pine (*P. sylvestris* L.) in Kryvyi Rih iron ore dumps. It is shown that both pine species are highly resistant in dumps and as of this time, their quite healthy plantings have reached the age of 40. The phenomenon of spontaneous

formation of these species' introduced populations either around the existing dump plantings within a radius of 300–500 meters or through seed transfers from nearby dump plantings is observed. The sizes of individual population loci formed due to annual pine regeneration over the last 15 to 20 years are about 1 ha, and self-seeding density of all ages is up to 50 to 70 individuals per 100 m². In the dumps both species form female cones in their seventh year of growth and are characterized a high reproductive activity in the following years. At this time the plants form shallow root system with depth no more than 30–40 cm. There was found a somewhat lower allelic diversity in introduced dump pine populations, but their levels of heterozygosity is not lower than those in natural populations in the Crimean mountains and steppe. We have a patented model of using these pine species for accelerating of their natural regeneration processes in Kryvyi Rih iron ore dumps.

Keywords: *Pinus pallasiana*, *P. sylvestris*, viability, variation, introduced populations, ore dumps, Kryvyi Rih.

Підписано до друку 2.05.2019 р. Формат 60х84/16
Папір офсетний. Друк PISO. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 1,4. Тираж 100 прим.

Надруковано у КП «Жовтнева районна друкарня»
50014, вул. Електрична, 2А.
Тел. 401-63-93