

ISSN 2664–505X (print)

ISSN 2664–5068 (online)

Міністерство освіти і науки України
Криворізький державний педагогічний університет

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВІСНИК КРИВОРІЖЖЯ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ
І НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПРАЦЬ

Засновано в 2002 році

Оновлено в 2015 році

Випуск 7

Кривий Ріг
2022

ISSN 2664-505X (print)

ISSN 2664-5068 (online)

Ministry of Science and Education of Ukraine
Kryvyi Rih State Pedagogical University

ECOLOGICAL BULLETIN OF KRYVYI RIH DISTRICT

SCIENTIFIC AND
SCIENTIFIC & METHODOLOGICAL
PAPERS COLLECTION

Founded in 2002

Updated in 2015

Issue 7

Kryvyi Rih
2022

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ:
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Криворізького державного педагогічного університету
(протокол № 7 від 12 січня 2023 р.)

Головний редактор: **Е. О. Євтушенко**, кандидат біологічних наук, доцент,
Криворізький державний педагогічний університет
(Кривий Ріг, Україна)

Заступники головного редактора: **Г. Гайльмайер**, доктор філософії, професор,
Технічний університет (Фрайберг, Німеччина)
В. М. Савосько, кандидат біологічних наук, доцент
Криворізький державний педагогічний університет
(Кривий Ріг, Україна)

Члени редакційної колегії:

Т. М. Альохіна, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, Криворізький державний педагогічний університет
(Кривий Ріг, Україна)

О. В. Бондаренко, кандидат педагогічних наук, доцент, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

О. О. Дідур, кандидат біологічних наук, доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Дніпро, Україна)

І. О. Зайцева, доктор біологічних наук, професор, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Дніпро, Україна)

Т. Ю. Лихолат, кандидат біологічних наук, доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (Дніпро, Україна)

Я. В. Маленко, кандидат біологічних наук, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

А. В. Павліченко, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна)

Т. В. Селіванова, кандидат хімічних наук, доцент, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

Т. Ф. Чипиляк, кандидат біологічних наук, Криворізький ботанічний сад Національної академії наук України (Кривий Ріг, Україна)

Н. А. Чувасова, доктор педагогічних наук, професор, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

Відповідальний секретар **І. О. Комарова**, кандидат біологічних наук, доцент, Криворізький державний педагогічний університет (Кривий Ріг, Україна)

Збірник наукових і науково-методичних праць містить результати досліджень, присвячених сучасним проблемам фундаментальної екології, актуальним питанням екології промислових регіонів, екологічної освіти та методики викладання природничих дисциплін.

Періодичне наукове видання розраховане на широке коло біологів, екологів, викладачів, учителів, фахівців позашкільних закладів освіти, студентів та учнів, а також усіх небайдужих до стану довкілля Рідного краю.

© Автори статей, 2022

ECOLOGICAL BULLETIN OF KRYVYI RIH DISTRICT

FOUNDER AND PUBLISHER
KRYVYI RIH STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

This scientific and scientific & methodological papers collection contains results of the research in the following fields: (i) modern problems of fundamental ecology, (ii) topical issues of ecology and the state of environment at industrial areas, (iii) ecological education and methods for natural sciences teaching.

This periodic scholarly publication designed for: biologists, ecologists & environmentalists, university academics, teachers of lyceum / gymnasium / schools, specialists of out-of-school educational institutions, students and pupils, as well as all those who care about the environment of the native land.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief **Eduard Yevtushenko**, Doctor of Philosophy (Biology),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical
University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Deputy Editors **Hermann Heilmeier**, Doctor of Philosophy, Professor,
Technische Universität (Freiberg, Germany)

Vasyl Savosko, Doctor of Philosophy (Biology),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical
University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Members of the editorial board:

Tetiana Alokhina, Doctor of Philosophy (Biology), Senior Researcher,
Kryvyi Rih State Pedagogical University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Oleg Bondarenko, Doctor of Philosophy (Pedagogy),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical University
(Kryvyi Rih, Ukraine)

Oleg Didur, Doctor of Philosophy (Biology), Associate Professor,
Oles Honchar Dnipro National University (Dnipro, Ukraine)

Iryna Zaytseva, Doctor of Science (Biology), Professor,
Oles Honchar Dnipro National University (Dnipro, Ukraine)

Tetyana Lykholat, Doctor of Philosophy (Biology),
Associate Professor, Oles Honchar Dnipro National University
(Dnipro, Ukraine)

Yana Malenko, Doctor of Philosophy (Biology),
Kryvyi Rih State Pedagogical University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Artem Pavlychenko, Doctor of Science (Engineering), Professor,
Dnipro University of Technology (Dnipro, Ukraine)

Tetiana Selivanova, Doctor of Philosophy (Chemistry),
Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical University
(Kryvyi Rih, Ukraine)

Tetiana Chypyliak, Doctor of Philosophy (Biology),
Kryvyi Rih Botanical Garden of National Academy of Sciences of Ukraine
(Kryvyi Rih, Ukraine)

Nataliia Chuvasova, Doctor of Science (Pedagogy), Professor,
Kryvyi Rih State Pedagogical University (Kryvyi Rih, Ukraine)

Executive **Iryna Komarova**, Doctor of Philosophy (Biology),
Editors Associate Professor, Kryvyi Rih State Pedagogical
(Kryvyi Rih, Ukraine)

Зміст

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЇ

І. О. Комарова, Е. Р. Федорчак

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ МІСТА КРИВИЙ РІГ (ОГЛЯД) 11

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ

Ю. В. Белик, В. М. Савосько, Ю. В. Лихолат

СУЧАСНИЙ СТАН ДЕНДРОФІТОЦЕНОЗІВ, ПРИРОДНО ПОШИРЕНИХ НА ДЕВАСТОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЗАЛІЗОРУДНОГО ВІДВАЛУ (КРИВИЙ РІГ)..... 25

О. О. Красова, А. О. Павленко

ТЕРИТОРІАЛЬНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ СТАРОВІКОВИХ ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ 44

О. М. Зубровська

ВПЛИВ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА РОЗВИТОК ОКСИДАТИВНОГО СТРЕСУ ТА НАГРОМАДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЛИСТКАХ КВІТНИКОВО-ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН.... 60

Е. О. Євтушенко,

І. О. Комарова,

Є. В. Поздній,

Ю. А. Головчук

РЕІНТРОДУКЦІЯ ОХОРОНЮВАНИХ ВИДІВ *ADONIS VERNALIS* L., *TULIPA SCHRENKII* REGENS у ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЖОВТОКАМ'ЯНСЬКОГО РОДОВИЩА 74

Contents

MODERN PROBLEMS OF FUNDAMENTAL ECOLOGY

- I. A. Komarova, E. R. Fedorchak*
USING OF PLANT TEST SYSTEMS FOR ENVIRONMENTAL CONDITION INDICATIONS OF THE KRYVYI RIH CITY (OVERVIEW) 11

CURRENT ISSUES OF THE APPLIED ECOLOGY AT INDUSTRIAL AREAS

- Yu. V. Bielyk, V. M. Savosko, Yu. V. Lykholat*
THE CURRENT STATE OF WOODY PLANT COMMUNITY GROWING NATURALLY ON THE DEVASTATED LANDS OF THE IRON DUMP (KRYVYI RIH) 25

- O. O. Krasova, A. O. Pavlenko*
TERRITORIAL DIFFERENTIATION OF KRYVBAS OLDEN DUMPS VEGETATION COVER 44

- O. M. Zubrovska*
THE INFLUENCE OF MINING PROCESSING ENTERPRISE POLLUTANTS TO THE DEVELOPMENT OF OXIDATIVE STRESS AND THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS INTO FLOWERING AND DECORATIVE PLANTS LEAVES 60

- E. O. Yevtushenko, I. O. Komarova, Ye. V. Pozdniï, Yu. A. Golovchuk*
REINTRODUCTION OF THE PROTECTED SPECIES *ADONIS VERNALIS* L., *TULIPA SCHRENKII* REGEL DURING THE DEVELOPMENT OF ZHOVTOKAMYANSK DEPOSIT MINERALS 74

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ
ЕКОЛОГІЇ

MODERN PROBLEMS
OF FUNDAMENTAL
ECOLOGY

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ ІНДИКАЦІЇ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ МІСТА КРИВИЙ РІГ (ОГЛЯД)

І. О. Комарова*, Е. Р. Федорчак

*Криворізький державний педагогічний університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Анотація. У сучасних умовах стрімкого процесу урбанізації першочерговим є питання оптимізації міського середовища. У системі заходів із поліпшення екологічного стану міст важливу роль відіграють рослини, які чутливі до забруднення навколишнього середовища, а також ті, що мають швидку реакцію на наявність у повітрі навіть малих доз токсичних речовин, тому їх вважають найкращими індикаторами стану повітряного середовища.

Зазвичай оцінку стану екологічних систем здійснюють за різними екологічними стандартами й нормативами. Серед них найважливішими є нормативи якості довкілля, які виражають у показниках гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин в окремих об'єктах навколишнього середовища. Такі підходи базуються лише на інструментальних фізико-хімічних методах аналізу й орієнтовані на контроль відповідності до нормованих показників. Однак такі методи не завжди вчасно ілюструють повну картину впливу забруднювачів на біоту в техногенно навантажених регіонах, де постійно є ризик зростання генетичної напруги середовища, що зумовлено надходженням в екотопи політантів із вираженою мутагенною активністю.

Тому останнім часом намітилася цілком обґрунтована тенденція необхідності оцінки стану довкілля техногенних екосистем не тільки традиційними фізико-хімічними методами, а й шляхом використання методів біоіндикації. Біоіндикаційні методи дозволяють визначити комплексну дію всіх забруднювачів, присутніх в об'єктах навколишнього середовища. Вони є високочутливими та достатніми для адекватних оцінок.

Багаторічні дослідження з оцінки екологічного стану міста Кривий Ріг ґрунтуються, як правило, на використанні стандартних методів і мають обґрунтовані результати. Біоіндикація як альтернативний і перспективний підхід у таких дослідженнях є недостатньо поширеним і застосовується дуже рідко.

У статті узагальнені відомості про використання рослин у біоіндикаційних дослідженнях міста Кривий Ріг. Порівняно застосування деревних і трав'янистих рослин у визначенні екологічної напруги міста. Розглянуто значущість біоіндикації для здійснення моніторингових досліджень території міста. Проаналізовано перспективність застосування цитогенетичних біоіндикаційних досліджень для інтегральної оцінки стану навколишнього середовища Криворізького залізничного регіону.

Ключові слова: біоіндикація, фітоіндикація, урбоекосистема, техногенне забруднення, моніторинг.

Вступ. Урбанізація, з усім спектром змін, які внесені нею в навколишнє середовище, становить предмет дослідження багатьох наук, зокрема й екології. Глобальні масштаби збільшення міських територій, що охоплюють країни з різним суспільним ладом і рівнем економічного розвитку, є однією з важливих особливостей нашого часу. На формування особливостей мікроклімату міста, крім природних, впливають умови, які створює міська забудова [12]. Також негативні наслідки мають широко розвинена мережа автотранспорту, функціонування теплоелектростанцій, промислових підприємств. Тож міста представляють концентровані центри виробництва, споживання та видалення відходів, а також цілого ряду різноманітних екологічних проблем [1].

На сучасному етапі розвитку урбоекосистем цілком обґрунтованою і пріоритетною є розробка системи біологічних показників для моніторингу довкілля. Важливими критеріями для них повинні бути показники акумуляції полютантів видами-індикаторами, стійкість фітоценозів до техногенного забруднення, адаптації рослин на фізіологічному рівні й оцінки їх мутагенної активності [9, 10].

Місто Кривий Ріг не виключення і потребує детального розгляду питання розробки ефективного алгоритму біоіндикаційних досліджень із метою отримання комплексної інтегральної біоіндикаційної оцінки. У техногенно-змінених умовах необхідно активізувати пошук чутливих біоіндикаторів та інформативних індикаційних ознак, здатних відображати сукупний вплив урбогенних і техногенно зумовлених факторів на фітоценози [1, 6, 8, 11, 13].

Дослідження території Криворіжжя присвячені багатосторонньому вивченню ландшафтної структури регіону, його флори та фауни, встановленню екологічного стану природного середовища й оцінці якості його окремих компонентів (атмосферного повітря, поверхневих вод, ґрунтового покриву) [1, 12]. Водночас біоіндикаційні дослідження менш поширені, характеризуються епізодичністю, безсистемністю, практично відсутністю фітоіндикаційних розвідок із застосуванням цитогенетичних методів.

Мета. Тому особливої актуальності та значущості набуває пошук чутливих біоіндикаторів, створення системи показників для проведення комплексної оцінки екологічного стану міста з використанням рослинних тест-систем.

Матеріали та методи. Під час дослідження використовували системний, елементно-структурний та аналітичний підходи із застосуванням загальноприйнятих загальнонаукових методів.

Результати та обговорення. Загальновизнаною є думка, що біоіндикацію можна використовувати на різних рівнях організації живої матерії: макромолекула, клітина, орган, організм, популяція, біоценоз [4]. Із підвищенням рівня організації біологічних систем затруднюється процес індикації через складність взаємозв'язків із факторами місцезнаходження. Водночас біоіндикація на нижчих рівнях діалектично включається в біоіндикацію на вищих рівнях, виступаючи в новій якості. Саме тоді, як на нижчих рівнях організації біологічних систем переважають прямі, частіше, специфічні види біоіндикації, на вищих — панує непряма біоіндикація [4, 9].

У сучасних умовах біоіндикаційні дослідження на рівні макроорганізмів проводяться за двома ключовими напрямками: фіто- та зооіндикація. Як зауважує Я. П. Дідух [4], рослинний покрив уже давно використовується для індикації природного середовища, оскільки відіграє ключову роль у функціонуванні екосистем. А чутливість, візуальність, емерджентний характер змін рослинного покриву визначають придатність фітоіндикації для екологічних досліджень, експертиз, прогнозування поведінки, стану та розвитку екосистем.

Важлива роль у поліпшенні стану урботехногенного середовища відіграють деревні рослини, які виконують кліматотвірну, рекреаційну, санітарно-гігієнічну функції. У великих індустріальних містах деревна рослинність доповнює технологічні засоби боротьби із забрудненням повітря [8]. Однак посилення техногенного впливу суттєво відображається на розвитку та функціональній активності рослин і викликає швидку деградацію фітоценозів, особливо тих, що зростають у санітарно-захисних зонах підприємств [19, 20]. А за відповідними реакціями у вигляді кількісних або якісних змін різних параметрів рослин можна визначити інтенсивність антропогенних чинників і ступінь їх впливу на рослинний організм [10].

Для діагностування життєздатності рослин в умовах дії як природних негативних факторів, так і забруднення довкілля можна використовувати різні підходи, які повинні базуватись на визначенні аутоекологічних особливостей видів, що забезпечує їх адаптаційну пластичність. Тому вкрай актуальними є дослідження адаптаційної здатності синантропних видів до дії поллютантів, що має як теоретичне

значення — для подальшого розвитку екологічної фізіології рослин, так і практичне — для біоіндикації стану довкілля.

Перші спроби використання методів біоіндикації в екологічних дослідженнях Криворіжжя були здійснені І. А. Добровольським, який оцінював стан довкілля за допомогою деревних рослин [6]. Учений-геоботанік вивчав видовий склад рослинності парків, садів і вулиць Кривого Рогу, що надалі дозволило скласти таблицю зелених насаджень. До неї зараховано 115 найменувань дерев і кущів, визначено посухостійкість, морозостійкість і декоративність кожного виду. Такий підхід мав вагомий значення в процесі створення зелених насаджень Криворіжжя [5]. Окрім того, протягом багатьох років професор І. А. Добровольський проводив у Кривому Розі біогеоценологічні дослідження, розробляв наукові основи оптимізації техногенних ландшафтів, фіторекультиваци порушених місцевостей [6].

Вагомий внесок у дослідження довкілля міста з використанням рослин зробили науковці Криворізького ботанічного саду НАН України. У своїх експериментальних роботах використовували як деревні, так і трав'янисті рослини. Значну увагу приділено вивченню видів роду *Populus*. Зокрема О. В. Данильчук виділив дві групи рослин цього роду. Першу групу становлять *P. deltoides* і *P. italica*, які за умов сильного забруднення мають у 90–100% екземплярів стійкий якісний стан. До другої — зі зрідженням крони понад 40% і з нестійким якісним станом (від 30 до 60% екземплярів) — *P. simonii*, *P. candicans* і *P. bolleana*. За результатами проведеної оцінки стану тополь у зелених насадженнях промислових майданчиків Кривого Рогу запропоновано використовувати для створення стійких деревних насаджень *P. deltoides* і *P. italica*, а в зонах зі слабким рівнем забруднення — *P. simonii* і *P. candicans* [3].

Продовжила роботу із вивчення видів роду *Populus* Н. М. Данильчук. Науковиця встановила, що проростання цих рослин у специфічних умовах відвалів міста зумовлене ксилоризом. Це — наслідок пристосування, що сприяє зменшенню кількості основних пігментів фотосинтезу в асиміляційному апараті та збільшенню суми каротиноїдів. Характерною особливістю *P. alba* в умовах відвалів є зменшення товщини палисадної паренхіми до 10% і збільшення кількості продохів до 15%, на відміну від *P. italica* і *P. deltoides* [22].

Часто використовують *B. pendula* як біоіндикатор, адже рослина чутливо реагує на погіршення умов середовища [17]. За численними даними як зарубіжних, так і вітчизняних учених, антропогенне забруднення призводить до варіювання великої кількості показників у

B. pendula на різних рівнях організації: від клітинного до популяційно-видового. Вивченням впливу різних аерополутантів в умовах міста Кривий Ріг займалася Ю. М. Петрушкевич, яка комплексно дослідила зміни, що відбуваються в рослині. Нею було запропоновано ряд показників, які виявилися найбільш чутливими та відмінності яких досягали у 1,5 і більше разів порівняно з контролем. До них належать: схожість насіння, енергія проростання насіння, «зігнутість» верхівки листа, коефіцієнт чутливості пилку, флуктуюча асиметрія, коефіцієнт стерильності пилку, об'єм крони, життєздатність пилку, кількість аномального пилку, життєвий стан дерев (кількість здорових), доброякісність насіння, площа проекції крони [14].

Важливу роль в оптимізації середовища промислових міст відіграють вічнозелені рослини. Вони покращують якість повітря та пригнічують розвиток хвороботворних бактерій за рахунок фітонцидної активності. Вічнозелені рослини покращують мікроклімат через збагачення киснем міського середовища, поліпшують шумозахисний ефект, а також мають високі декоративні властивості через свою морозостійкість і яскравий вигляд у будь-яку пору року. Саме таким рослинам приділено достатньо уваги в біоіндикації. Учені А. Ю. Мазур та І. І. Коршиков зауважують, що вічнозелені рослини потрібно використовувати в озелененні різних за призначенням територій населених пунктів. За ними велике майбутнє під час вирішення сучасних проблем оптимізації урбаносередовища промислових міст у степовій зоні України [9]. Останнім часом саме види роду *Picea* пропонують використовувати як біоіндикатори аеротехногенного забруднення [13], оскільки листяні дерева, щорічно оновлюючи листя, звільняються від токсичних сполук.

Попередні дослідження роду *Picea* A. Dietr. у місті Кривий Ріг носили фрагментарний характер. Так, наприклад, В. Д. Федоровський і Н. С. Терлига досліджували видовий склад хвойних і їх життєвий стан [8, 21]. Окрім цього, К. М. Домшина та В. М. Савосько вивчали озеленення пришкільних ділянок північної частини Криворіжжя і встановили, що найчастіше використовують дерева *Picea abies* [18]. І. І. Коршиков [15] акцентував на тому, що життєздатність пилку рослин *Pinus sylvestris* D. Don у насадженнях Криворіжжя була на 8–15% меншою порівняно з насадженнями дендропарку «Асканія Нова» та Кременецьким лісництвом.

Більш всебічного аналізу та детального вивчення еколого-біологічних особливостей формування рослин роду *Picea* A. Dietr. у промисловому місті Кривий Ріг приділила увагу Е. Р. Федорчак,

яка провела загальну оцінку та порівняльний аналіз рослин одного родового комплексу, вивчала їх біометричні показники, морфометричні параметри, особливості асиміляційного апарату та репродуктивного потенціалу [7]. Це дозволило досліднику надати рекомендації щодо залучення й акліматизації іншорайонних видів ялин із несхожими декоративними й екологічними характеристиками для створення різних типів насаджень із високими естетичними якостями й ефективними фітомеліоративними функціями в умовах степової зони України.

Окрім здійснення біоіндикації з використанням деревних рослин, були реалізовані спроби використовувати трав'янисті рослини. Зокрема, Т. Ф. Чипиляк [2] розглядає можливість використання квітково-декоративних представників родин *Нemerocallis* L. для визначення впливу різних екологічних чинників на генеративний апарат рослин. Нею встановлена видоспецифічність у поглинанні плюмбуму видами та культиварами *Нemerocallis* L. в зоні дії викидів автотранспорту. Так, рослини *Нemerocallis* x *hybrida hort. cv. Winnie the Pooh* та *Нemerocallis* x *hybrida hort. cv. Stagecoach* накопичують цього елементу в 5 разів більше, ніж *Нemerocallis lilioasphodelus* L., *Нemerocallis middendorffii* Trautv. et. Mey.

У своїх дослідженнях М. Ю. Мазура виявила чутливість у різних сортів канн пилкових зерен, а саме — їх запліднюючу здатність залежно від умов вирощування. Також вона спостерігала варіативність і біометричних показників. Водночас простежується специфічна реакція окремих сортів на умови вирощування. За результатами зроблені висновки, що сорти *Andenken an Vilgelm Pfitzer* і *Хамелеон* за показником критичної стерильності пилку відповідають категорії середньостійких і чутливих біоіндикаторів, а стан чоловічої генеративної системи сучасних сортів канни можна використовувати для моніторингу індикації та картування територій із різним рівнем забруднення [16].

Окрім декоративно-квіткових рослин, у біоіндикації стану довкілля Криворіжжя використовували поширений селітебний вид *Taraxacum officinale* Wigg. І. О. Комарова за змінами чоловічої генеративної сфери, фізіологічними особливостями рослини здійснила ранжування території міста та виділила 3 рівні забруднення: високий, помірний, незначний [13].

Техногенно навантажені регіони, до яких відносять місто Кривий Ріг, потребують розробки комплексної програми оптимізації довкілля. Базою для такої програми може бути детальне дослідження біогеоценотичного покриву території. Основу зазначених досліджень

закладено О. М. Сметаною та В. В. Перервою, які вивчали й охарактеризували закономірності формування окремих компонентів біогеоценотичного покриву в ландшафтно-техногенних системах Криворіжжя, здійснили аналіз еколого-ценотичної ролі рослинності та специфіки формування ґрунтового покриву. Паралельно була здійснена фітоіндикація екологічних екотопів із метою подальшої розробки заходів оптимізації довкілля [20].

Висновки. Незважаючи на численні роботи, відкритим залишається питання індикації стану навколишнього середовища міста з використанням цитогенетичних підходів, що ґрунтуються на спостереженні спадкових структур клітини (мікроскопічними методами). Слід зауважити, що особливістю такого напрямку є адекватна відповідь на питання про загальну токсичність і мутагенність забруднених об'єктів довкілля і ступінь їх небезпеки для біоти. Отримані результати дають змогу вирішити проблеми екологічного нормування за цитогенетичними показниками біоіндикаторів, а також оцінити екологічний і генетичний ризики для біоти та людини. До основних критеріїв токсичності відносять відсоток пригнічення росту біоіндикаторів, величину мітотичного індексу в меристематичних клітинах, збільшення частоти зустрічальності стерильних клітин у пилку рослин. На основі цих критеріїв стан території характеризують як сприятливий, конфліктний, критичний, небезпечний.

Більш детально необхідно звернути увагу на вивчення адаптаційних можливостей деревно-чагарникових і трав'янистих рослин як рекреаційних, так і промислових територій міста, що надалі можна використовувати для створення шкали біоіндикації в урбосистемі та розробки методичних рекомендацій щодо організації екологічного моніторингу в місті.

References

1. Bahrii, I. D., Bilous, A. M., & Vilkul, Yu. H. (2000). Dosvid kompleksnoi otsinky ta kartohrafuvannia faktoriv tekhnohennoho vplyvu na pryrodne seredovyshche mist Kryvoho Rohu ta Dniprodzerzhynska [Experience of complex estimation and mapping of factors of technogenic influence is on the natural environment of cities of the Crooked Horn and Dniprodzerzhynsk]. Kyiv : Feniks. (in Ukrainian).
2. Chypyliak, T. F. (2011). Autekologhiia predstavnykiv rodu *Hemerocallis* L. v umovakh tekhnohennoho zabrudnennia [Autecology of

- representatives of the genus *Hemerocallis* L. under conditions of technogenic pollution] : *avtoref. dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.16. Kyiv, 21. (in Ukrainian).
3. Danylchuk, O. V., & Hryshko, V. M. (2012). Otsinka stanu nasadzen topol na promyslovykh maidanchykakh hirnychorudnykh pidpriemstv [Assessment of poplar plantations on industrial sites of mining enterprises]. *Ahrobiolohiia : zbirnyk naukovykh prats Bilotserkiivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Agrobiology : collection of scientific works of Bila Tserkva National Agrarian University]*, 8 (94), 57–60. (in Ukrainian).
 4. Didukh, Ya. P. (2012). Osnovy bioindykatsii [The basics of bioindication]. Kyiv : Nauk. dumka, 361. (in Ukrainian).
 5. Dobrovolskyi, I. A. (1968). Vplyv promysloвого забруднення середовища на цвітіння і плодоношення рослин [Impact of industrial pollution on flowering and fruiting of plants]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, 31 (1), 34–35. (in Ukrainian).
 6. Dobrovolskyi, I. A. (1988). Voprosu fytoindykatsyy y monytorynh zahriaznennia atmosferного vozdukhа s pomoshchiu drevesnykh rastenyi [Phytoindication issues and monitoring of air pollution with the help of woody plants]. *Monitoringovyye issledovaniya lesnykh ekosistem stepnoy zonyi, ih ohrana i ratsionalnoe ispolzovanie [Monitoring studies of forest ecosystems of the steppe zone, their protection and rational use]*, 62–68. (in Russian).
 7. Fedorchak, E. R. (2021). Ekoloho-biolohichni osoblyvosti vydiv rodu *Picea* A. DIETR. v urbotekhnohennykh umovakh m. Kryvyi Rih [Ecological and biological features of the species of the genus *Picea* A. DIETR. in urban conditions of Kryvyi Rih] : *dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.16. Dniprovskiy natsionalnyi universytet im. Olesia Honchara MON Ukrainy. Dnipro, 204. (in Ukrainian).
 8. Fedorovskyi, V. D., Terlyha, N. S., Yukhymenko, Yu. S., Danylchuk, O. V., Danylchuk, N. M., & Laptieva, O. V. (2013). Vydovyi sklad ta zhyttievyy stan derevno-chaharnykovoi roslynnosti parkiv ta skveriv m. Kryvyi Rih [Species composition and vital condition of tree and shrub vegetation of parks and squares of Kryvyi Rih]. *Introduktsiia roslyn [Introduction of plants]*, 3, 73–79. (in Ukrainian).
 9. Hlukhov, O. Z. (2008). Indykatsiia stanu tekhnohennoho середовища за morfolohichnoiu minlyvistiu roslyn [An indication of the state of

- technogenic environment is after morphological changeability of plants]. *Promyslova botanika [Industrial botany]*, 8, 3–11. (in Ukrainian).
10. Horova, A., Kulyna, S., & Shkremetko, O. (2011). Pro bioindykatsiinu otsinku vplyvu na dovkillia stavkiv-nakopychuvachiv shakhtnykh vod (na prykladi Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho rehionu) [On bioindicative assessment of the environmental impact of mine water storage ponds (on the example of Chervonohrad mining region)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii biologichna [Bulletin of Lviv University. Series biological]*, 56, 221–226. (in Ukrainian).
 11. Horovaia, A. Y., Skvortsova, T. V., Klymkyna, Y. Y., & Pavlychenko, A. V. (2003). Tsytohenetycheskoe testyrovanye kachestva sredy [Cytogenetic testing of media quality]. *Antropohenno-zminene seredovyshche Ukrainy: ryzyky dlia zdorovia naselennia ta ekolohichnykh system [Anthropogenically modified environment of Ukraine: risks for public health and ecological systems]*, 502–517. (in Ukrainian).
 12. Kazakov, V. L., Paranko, I. S., Smetana, M. H., Shypunova, V. O., Kotsiuruba, V. V., & Kalinichenko, O. O. (2005). Pryrodnycha heohrafiia Kryvbasu. [Natural geography of Kryvbas]. Kryvyi Rih : KDPU. (in Ukrainian).
 13. Komarova, I. O. (2019). Ekoloho-biologichni osoblyvosti *Taraxacum officinale* Wigg za dii zabrudnennia vazhkymy metalamy v umovakh promyslovoho Kryvorizhzhia [Ecological and biological features of *Taraxacum officinale* Wigg under the influence of heavy metal pollution in industrial Kryvyi Rih] : *dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.16. Dniprovskiy natsionalnyi universytet im. Olesia Honchara MON Ukrainy, 194. (in Ukrainian).
 14. Korshikov, I. I., & Petrushkevych, Y. M. (2017). Viability of *Betula pendula* Roth. in urbansystem of Krivyi Rih. *Plant Introduction*, 28–35.
 15. Korshykov, I. I., Suslova, O. P., & Petrushkevych, Yu. M. (2020). Derevni roslyny v umovakh promyslovykh mist Stepu [Woody plants in the conditions of industrial cities of the Steppe]. Odesa : Vydavnychyi dim «Helvetyka». (in Ukrainian).
 16. Matiashuk, R. K., Mazura, M. Iu., & Tkachenko, I. V. (2014). Stan pylku kanny v umovakh urbanizovanykh terytorii [The state of canna pollen in urban areas]. *Visnyk KhNAU. Serii Biologhii [Bulletin of KhNAU. Series Biology]*, 3 (33), 43–51. (in Ukrainian).
 17. Shevtsova, T. V., Harkava, K. H., & Bryndza, Ya. (2014). Morfometriia pylkovykh zeren berezy borodavchastoi yak indykator yakosti ekostanu

- [Morphometry of pollen grains of warty birch as an indicator of ecological state quality]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Issues of bioindication and ecology]*, 19 (2), 121–138. (in Ukrainian).
18. Savosko, V. M., & Domshyna, K. M. (2016). Poshyrennia khvoynykh v ozelenenni pryshkilnykh dilianok Kryvorizhzhia [Spread of conifers in landscaping of school grounds in Kryvyi Rih]. *Suchasni tendentsii zberezhennia, vidnovlennia ta zbahachennia fitoriznomanittia botanichnykh sadiv i dendroparkiv [Current trends in conservation, restoration and enrichment of phytodiversity of botanical gardens and arboreturns]*, 131–134. (in Ukrainian).
 19. Shevchuk, N. Yu., Korshykov, I. I., Huseinova, E. R., Petrushkevych, Yu. M., & Krasnoshtan, O. V. (2017). Pozpovsiudzenist ta zhyttiezdatnist vydiv rodu Pinus L. v nasadzhenniakh m. Kryvoho Rohu [Prevalence and viability of species of the genus Pinus L. in plantations of Kryvyi Rih]. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekultyvatsii zemel [Issues of steppe forestry and forest land recultivation]*, 46, 10–17. (in Ukrainian).
 20. Smetana, O. M., & Pererva, V. V. (2007). Bioheotsenotychnyi pokryv landshaftno-tekhnohennykh system Kryvbasu [Biogeocenotic cover of landscape-technogenic systems of Kryvbas]. *Kryvyi Rih : Vyd. Dim*, 247. (in Ukrainian).
 21. Terlyha, N. S. (2012). Suchasnyi stan khvoynykh v zelenykh nasadzhenniakh mista Kryvyi Rih [The modern state of conifers in green spaces of Kryvyi Rih]. *Ahrobiolohiia [Agrobiology]*, 8, 157–160. (in Ukrainian).
 22. Danylchun, N. M. (2021). Zhyttiezdatnist vydiv rodu Populus L na zalizorudnykh vidvalakh Kryvorizhzhia [Viability of species of the genus Populus L on iron ore dumps of Kryvyi Rih] : *avtoref. dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.16. NANU Instytut ekolohii Karpat. (in Ukrainian).

**USING OF PLANT TEST SYSTEMS
FOR ENVIRONMENTAL CONDITION INDICATIONS
OF THE KRYVYI RIH CITY (OVERVIEW)**

I. A. Komarova, E. R. Fedorchak

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The issue of optimizing the urban environment is of primary importance in the modern conditions of the rapid process of urbanization.

Plants that are sensitive to environmental pollution and have a quick reaction to the presence of even small doses of toxic substances in the air play an important role in the system of measures to improve the ecological state of cities; therefore, they are considered the best indicators of the state of the air environment.

Usually, the assessment of the state of ecological systems is carried out according to various ecological standards and regulations. Among them, the most important are environmental quality standards, which are expressed in indicators of maximum permissible concentrations of harmful substances in individual environmental objects. Such approaches are based only on instrumental physico-chemical methods of analysis and are focused on monitoring compliance with standardized indicators. However, such methods do not always timely illustrate the full picture of the impact of pollutants on biota in technogenically-loaded regions, where there is a constant risk of increasing the genetic stress of the environment, which is caused to entry into the ecotopes of pollutants with pronounced mutagenic activity.

Therefore, recently a well-founded trend of assessment of the transformed ecosystems state traced not only by traditional physicochemical methods, but also by bioindicative methods. Bioindicative methods make it possible to determine the complex effect of all pollutants present in environmental objects; they are highly sensitive and sufficient for adequate assessments.

Long-term studies on the assessment of the Kryvyi Rih city ecological condition have reasonable results and its based, as a rule, on the use of standard methods. Bioindication, as an alternative and promising approach in such studies, is not widespread enough and using very rarely.

The article summarizes information about the use of plants in bioindicative studies of the Kryvyi Rih city. The use of woody and herbaceous plants in ecological stress determining of the city is compared. The significance of bioindication for monitoring studies of the city territory is considered. The perspective of using cytogenetic bioindicative studies for the integrated assessment of the environment of the Kryvyi Rih iron ore region is analyzed.

Key words: bioindication, phytoindication, urban ecosystem, technogenic pollution, monitoring.

Citation as:

APA Komarova, I. O., & Fedorchak, E. R. (2022). Vykorystannia roslynnykh test-system dlia indykatsii stanu dovkillia mista Kryvyi Rih (ohliad) [Using of plant test systems for environmental condition indications of the Kryvyi Rih city (overview)]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 7, 11–21. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v7i0>.

ДСТУ
8302:2015

Комарова І.О., Федорчак Е.Р. Використання рослинних тест-систем для індикації стану довкілля міста Кривий Ріг (огляд). *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 11–21.

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ
ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ
ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ**

**CURRENT ISSUES
OF THE APPLIED ECOLOGY
AT INDUSTRIAL AREAS**

СУЧАСНИЙ СТАН ДЕНДРОФІТОЦЕНОЗІВ, ПРИРОДНО ПОШИРЕНИХ НА ДЕВАСТОВАНИХ ЗЕМЛЯХ ЗАЛІЗОРУДНОГО ВІДВАЛУ (КРИВИЙ РІГ)

Ю. В. Бєлик^{1*}, В. М. Савосько², Ю. В. Лихолат¹

¹ — *Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
м. Дніпро, Україна*

² — *Криворізький державний педагогічний університет,
м. Кривий Ріг, Україна*

Анотація. У статті представлено результати дослідження сучасного стану флори дендроценозів, природно поширених на девастрованих землях Петровського залізорудного відвалу. На прикладі деревних рослинних угруповань порушених земель було досліджено: таксономічний склад, життєвий стан дерев, дендрометричні параметри видів. Дослідження проводили на порушених територіях, які не були рекультивовані. У межах тимчасових дослідних ділянок Петровського відвалу природно зростають 22 види деревних рослин (14 родів і 12 родин). Серед них за кількісними показниками значну перевагу мають адвентивні види (63,6%), порівняно з аборигенними (36,4%). Встановлено життєвість дендрофитоценозів, природно поширених на девастрованих землях Петровського залізорудного відвалу за трьома критеріями: за показниками кількості стовбурів ($70,51 \pm 1,28$ умовних балів) і запасів стовбурної деревини ($68,62 \pm 3,43$ умовних балів) і суми площ поперечних перерізів ($67,39 \pm 2,98$ умовних балів). Сучасний життєвий стан деревних видів рослин відвалу, за шкалою В.А.Алексєєва (1989), оцінений як «Ослаблений»: 65–71 умовних балів. Такі чисельні значення життєвості деревостану на 21–28% нижчі за контрольні показники (природні угруповання Гурівського лісу). Установлено дендрометричні параметри деревостану порушених земель (густота насаджень, середня висота і діаметр, сума площ поперечних перерізів, запас стовбурної деревини). Виявлено, що на всіх дослідних ділянках, які характеризуються високим рівнем забруднення, біометричні параметри дерев є достовірно нижчими порівняно з рослинами, що зростають в умовно чистій зоні. Отримані нами результати свідчать, що екологічні умови девастрованих земель Петровського залізорудного відвалу відносно сприятливі для росту та розвитку деревних видів рослин.

Ключові слова: деревні види рослин, життєвий стан, таксономічний склад, дендрометричні показники, девастровані землі, залізорудний відвал, Петровський відвал, Криворізький район.

Вступ. Стан довкілля Кривого Рогу як одного з найбільш техногенно навантажених регіонів України викликає серйозне занепокоєння. Промислове освоєння Криворізького регіону розпочалося ще в XIX столітті з інтенсивним розвитком металургії, машинобудування й інших небезпечних для навколишнього середовища галузей. Із кожним роком техногенний тиск на природу зростає. У результаті з'являються ділянки порушених земель, які тільки на Криворіжжі займають площу понад 30 тис. га та виступають потужними джерелами пилоутворення, викликають дефіцит поживних речовин для рослин, змінюють їх гідрологічний режим (Boyce, 1975; Denysuk *et al.*, 2012; Kvitko & Savosko, 2018; Bielyk *et al.*, 2019).

Критичною на сьогодні залишається проблема озеленення девастрованих земель за допомогою створення на їх території штучних деревних насаджень, що мають позитивні багатофункціональні властивості й оздоровлюють навколишнє середовище (Savosko, 2011; Korshikov & Krasnoshtan, 2012; Jennifer *et al.*, 2014; Mazur *et al.*, 2015; Hancock *et al.*, 2019; Dement *et al.*, 2020). Саме дерева та чагарники найбільш повно відображають весь комплекс стресових впливів: недостатня кількість поживних речовин, зсуви ґрунту, контрастність температури поверхні, комплекс сполук важких металів, зміни гідрологічного режиму (Savosko *et al.*, 2018; Danilchuk, 2020; Bielyk *et al.*, 2020). Однак деревно-чагарникові рослинні угруповання у промислових регіонах відчують подвійний негативний вплив (посушливі умови й антропогенне забруднення), що проявляється в погіршенні їх загального життєвого стану, прискореним старінням і зниженням процесів фотосинтезу (Shupranova *et al.*, 2017; Bhatla *et al.*, 2019; Bessonova *et al.*, 2020). У попередніх дослідженнях було визначено вміст поживних речовин і важких металів у листі провідних деревних порід відвалу та життєвий стан дендрофитоценозу (Savosko *et al.*, 2021; Bielyk *et al.*, 2022). Водночас сьогодні ще залишаються нерозкритими деякі особливості росту та розвитку дендрофитоценозів, природно поширених на девастрованих землях залізорудного відвалу.

Актуальність дослідження сучасного стану природних деревно-чагарникових угруповань на порушених землях зумовлена також необхідністю визначення та добору стійких видів із метою оптимізації навколишнього середовища. Одержані результати можуть бути використані для моніторингу під час проведення екологічних досліджень у майбутньому.

Мета роботи — дослідження сучасного стану дендрофитоценозів (життєвість, густина насаджень, висота і діаметр стовбура дерев, сума

площ поперечних перерізів, запас стовбурної деревини), природно поширених на девастованих землях залізорудного відвалу (Кривий Пір).

Матеріали та методи. Матеріалами роботи слугували результати власних досліджень, які виконували впродовж 2020–2021 років на території девастованих земель Петровського залізорудного відвалу, що розташований у Центральній частині Криворізького регіону (Дніпропетровська обл.) і належить до відвалів ПрАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат».

Маршрутно-рекогносцирувальним методом обстежено всю територію Петровського відвалу та закладено п'ять моніторингових ділянок (мінімальний розмір 150 м на 150 м), які мали чітку впорядкованість за тривалістю сукцесії деревної рослинності (рис. 1). Надалі в їх межах на площинах із максимальною контрастністю екологічних умов і густотою природних деревостанів додатково закладено п'ять дослідних ділянок (розміром 40 м на 50 м). Дослідженнями охоплено 10 000 м². У межах цих ділянок маршрутним методом визначали таксономічний склад деревних і чагарникових видів рослин, проводили вимірювання дендрометричних параметрів. За для контролю були використані дані наукової літератури (Kvitko & Savosko, 2017), де наведені показники життєвого стану та біометричні параметри дерев природних насаджень Гурівського лісу (Кіровоградська обл.).

Об'єктом дослідження була обрана деревна рослинність, що спонтанно сформувалася на Петровському залізорудному відвалі Криворізького гірничо-металургійного регіону (Дніпропетровська обл., Україна).

На дослідних ділянках для кожного екземпляра деревної рослини з діаметром стовбуру понад 5 см встановлювали попередньо видову приналежність, вимірювали висоту і діаметр стовбура (Hrom, 2007; West, 2009), визначали життєвість (Alekseev, 1989). Номенклатуру таксонів наведено за С. Л. Мосякіним і М. М. Федорчуком (Mosyakin & Fedoronchuk, 1999) з урахуванням IPNI. Аналіз розподілу видів за апофітними й антропофітними фракціями здійснено за рекомендаціями В. В. Протопопової (Protopopova *et al.*, 2014; Protopopova & Shevera, 2019).

Результати та обговорення. Таксономічна структура віддзеркалює умови формування дендрофлори Петровського відвалу (табл. 1). У складі рослинних угруповань тимчасових дослідних ділянок виявлено 22 види деревних рослин (14 родів і 12 родин). Загальний флористичний склад дерев і чагарників девастованих

земель Петровського відвалу налічує 33 види, які належать до 26 родів і 14 родин.

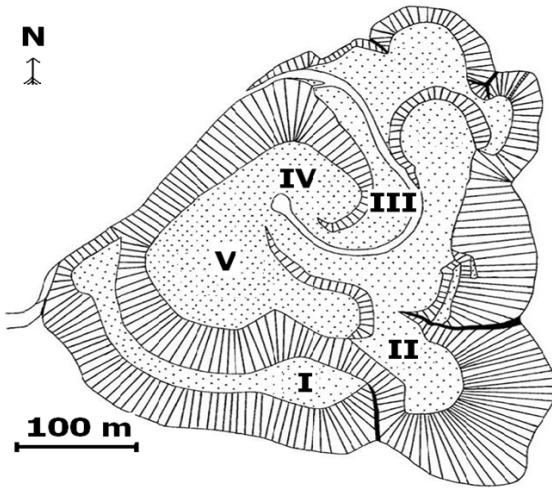


Рис. 1. План-схема Петровського відвалу та розташування пробних площ: I, II, III, IV, V — ділянки дослідження

Figure 1. Plan-scheme of Petrivskyi iron ore dump and the location of the test plots: I, II, III, IV, V — research sites

У таксономічних спектрах рослинних угруповань усіх дослідних ділянок Петровського відвалу панівне положення в ієрархії родин за кількістю видів займає родина *Salicaceae* — 5 видів (22,73% від загальної кількості видів), друге місце займають родини *Rosaceae*, *Ulmaceae* і *Aceraceae* — по 3 види кожна (13,64%). У спектрах рослинних угруповань п'яти дослідних ділянок родини *Betulaceae*, *Anacardiaceae*, *Elaeagnaceae*, *Juglandaceae*, *Moraceae*, *Cornaceae*, *Fagaceae* і *Fabaceae* є моновидовими та складають по 4,55% кожна.

Встановлено, що деревні види характеризуються різною поширеністю на дегазованих землях (табл. 1). Найбільш чисельною за видовим складом є III дослідна ділянка, де представлено 15 видів, що складають 68,18% від їхньої загальної кількості і належать до 7 родів (50%) і 6 родин (50%). У межах I дослідної ділянки нами зафіксовано 10 видів (45,45%), які належать до 7 родів (50%) і 6 родин (50%). Виявлено відмінність показників таксонів на території V дослідної

Таблиця 1. Таксономічний склад рослинних угруповань дослідних ділянок
 Table 1. Taxonomic composition of plant communities of experimental sites

Родина	Рід	Види рослин	Дослідні ділянки					Кількість ділянок, де зафіксовано вид	Рівень трапляння
			I	II	III	IV	V		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aceraceae	Acer	Acer negundo	+	+			+	3	60
Aceraceae	Acer	Acer pseudoplatanus					+	1	40
Aceraceae	Acer	Acer tataricum		+				1	40
Rosaceae	Armeniaca	Armeniaca vulgaris	+				+	2	80
Betulaceae	Betula	Betula pendula	+	+	+			4	80
Anacardiaceae	Cotinus	Cotinus coggygia				+		1	20
Elaeagnaceae	Elaeagnus	Elaeagnus angustifolia	+	+	+		+	4	80
Juglandaceae	Juglans	Juglans regia		+	+			2	40
Moraceae	Morus	Morus nigra			+	+		2	40
Salicaceae	Populus	Populus alba	+	+	+			3	60
Salicaceae	Populus	Populus canescens	+		+			2	40
Salicaceae	Populus	Populus italica					+	1	20
Salicaceae	Populus	Populus nigra	+	+	+		+	4	80
Salicaceae	Populus	Populus deltoideas			+			1	20

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rosaceae	Pyrus	Pyrus communis	+		+	+		3	60
Fagaceae	Quercus	Quercus robur			+			1	20
Fabaceae	Robinia	Robinia pseudoacacia			+			1	20
Rosaceae	Sorbus	Sorbus aucuparia			+		+	2	40
Cornaceae	Swida	Swida sanguinea			+	+		2	40
Ulmaceae	Ulmus	Ulmus glabra	+		+	+	+	4	80
Ulmaceae	Ulmus	Ulmus laevis	+		+	+	+	5	100
Ulmaceae	Ulmus	Ulmus minor					+	1	20

ділянки, де представлено 10 видів (45,45%), які належать до 6 родів (42,86%) і 5 родин (41,67%). Найменш чисельними за кількістю таксонів виявилися II і IV ділянки, відповідно — 8 видів (36,37%) і 7 видів (31,82%), що належать до 6 родів (42,86%). Різниця полягає в кількості родин, яких на одну більше на II ділянці — 6 родин (50%).

За результатами наших досліджень, високий рівень трапляння (80–100%) має один вид (4,5%) — *Ulmus laevis* Pall. На 60–80% дослідних ділянок зустрічаються 5 видів (22,7%): *Armeniaca vulgaris* Lam., *Betula pendula* Roth., *Elaeagnus angustifolia* L., *Populus nigra* L. та *Ulmus glabra* Huds. На нашу думку, ці види утворюють флористичне ядро дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях залізорудного відвалу.

На 40–60% дослідних ділянок зустрічаються 3 види (13,6%), а саме: *Acer negundo* L., *Populus alba* L. та *Pyrus communis* L.

На 20–40% дослідних ділянок зафіксована найбільша кількість видів — 7 (31,8%): *Acer platanoides* L., *Acer tataricum* L., *Juglans regia* L., *Morus nigra* L., *Populus canescens* Sm., *Sorbus aucuparia* L. та *Swida sanguinea* (L.) Opiz.

Дещо менша кількість видів — 6 (27,3%) — поширена на 20–40% дослідних ділянок. До переліку таких видів належать: *Cotinus coggygia* Scop., *Populus italica* (Du Roi) Moench., *Populus deltoidea* Marshall., *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L. та *Ulmus minor* Mill.

Дослідження систематичної структури рослинних угруповань девастрованих земель Петровського відвалу є важливим кількісним показником флори (табл. 2).

Таблиця 2. Кількісний розподіл таксономічних одиниць та основні пропорції флори девастрованих земель Петровського відвалу

Table 2. Quantitative distribution of taxonomic units and main proportions of the flora of the area of devastated lands of Petrivskiy iron ore dump

Дослідні ділянки	Родини		Роди		Види		Пропорції флори (родини: роди: види)	Родовий коеф.
	К-ть	%	К-ть	%	К-ть	%		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	6	18,75	7	19,44	10	20	1:1,2:1,7	1,4
II	6	18,75	6	16,67	8	16	1:1:1,3	1,3
III	10	31,25	11	30,56	15	30	1:1,1:1,5	1,4

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
IV	5	15,63	6	16,67	7	14	1:1,2:1,4	1,2
V	5	15,63	6	16,67	10	20	1:1,2:2	1,2
Разом	32	100	36	100	50	100	1:1,1:1,7	1,4

Отже, про ступінь видового та родового різноманіття на різних дослідних ділянках Петровського відвалу свідчать флористичні пропорції, тобто співвідношення середньої кількості родів у родині та видів у родині, роді. Для флори дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях залізорудного відвалу, основна пропорція становить 1:1,1:1,7, тобто середня кількість родів у родині становить 1,1, видів у родині — 1,7, а в роді (родовий коефіцієнт) — 1,4 (табл. 2). Невисоке значення цього показника свідчить про значну кількість одновидових родів, що вказує на розрізнений видовий склад деревної рослинності дослідних ділянок.

Синантропна характеристика флори дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях Петровського відвалу. Аналіз видового складу адвентивної фракції рослинних угруповань є важливим елементом для оцінки ступеня її трансформації. Результати наших досліджень свідчать, що серед дерев Петровського відвалу за кількісними показниками перевагу мають адвентивні види (63,6%), порівняно з аборигенними (36,4%). Різні ділянки в межах відвалу мають неоднорідну структуру: I, II, III і V ділянки — переважають адвентивні види, а IV — аборигенні. Біогеографічна характеристика рослинних угруповань свідчить про збільшення участі чужорідних видів, що неминуче призводить до зростання адвентивізації та синантропізації флори девастрованих земель Криворіжжя (рис. 2).

Частиною адвентивної фракції флори є інвазійний субелемент, який характеризується здатністю до швидкого розселення й освоєння широкого спектру екоотів. Особливої уваги дослідників потребують види, що належать до стабільного компоненту флори девастрованих земель, а також ті, що подолали ценотичний бар'єр і є агресивними інвазійними, наприклад: *Acer negundo* L., *Robinia pseudacacia* L. та інші.

Стан деревних рослин, природно поширених на девастрованих землях залізорудного відвалу. Перш ніж визначати життєвий стан флори дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях, було проведено аналіз багаточисельних наукових публікацій за темою досліджень. Відомо, що, за шкалою В. А. Алексєєва, сучасний

життєвий стан лісових культурфітоценозів (Savosko & Kvitko, 2017) оцінюється виключно як «Здоровий» — 82–90 умовних балів (далі — у. б.). Показники життєвого стану деревостанів садово-паркових (Savosko & Tovstolyak, 2017) культурфітоценозів у зоні сприятливих екологічних умов визначено як «здоровий» — 83–89 у. б.

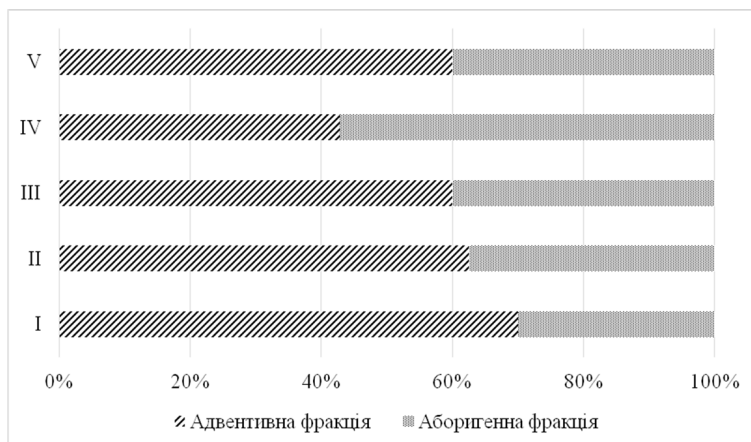


Рис. 2. Співвідношення аборигенної та адвентивної фракцій флори дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях: I, II, III, IV, V — ділянки дослідження

Figure 2. The ratio of the aboriginal and adventitious fraction of the flora of dendrophytocenoses naturally distributed on devastated lands: I, II, III, IV, V — research sites

Дослідження життєвого стану деревних рослин на всій території Петровського відвалу вказують на той факт, що переважна кількість дерев належить до категорій «ослаблені» та «сильно ослаблені» (51,8% від загальної кількості рослин). І лише 35,5% дерев оцінюються як «здорові». Кількість дерев із життєвим станом «відмирає» та «сухе» є мінімальною: 7,1 і 5,6% відповідно. Однак, для розширення уявлень про особливості природного розвитку флори дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях, нами було поглиблено аналіз життєвого стану деревних видів рослин на Петровському відвалі.

За показниками кількості стовбурів, у флорі дендрофітоценозів, природно поширених на різних ділянках Петровського відвалу, життєвий стан деревостану, за шкалою В. А. Алексеєва (Alekseev, 1989),

Таблиця 3. Життєвий стан дендрофітоценозів, природно поширених на різних ділянках Петровського відвалу

Table 3. Vital status of dendrophytocoenoses naturally distributed in different areas of Petrivskiy iron ore dump

Параметри рослин	Дослідні ділянки															
	I			II			III			IV			V			
	М	м	V, %	М	м	V, %	М	м	V, %	М	м	V, %	М	м	V, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
За чисельністю дерев																
Крона	71,25	1,44	12,22	70,00	1,54	13,08	72,31	1,71	14,90	66,83	1,18	16,09	72,89	1,53	13,01	
Листя	69,22	1,11	11,90	75,75	1,92	15,00	74,42	1,55	12,02	63,41	1,07	15,77	69,78	1,01	12,90	
Гілки	67,34	1,31	14,07	75,00	1,89	15,06	74,42	1,23	11,01	69,39	1,79	18,52	71,78	1,48	12,88	
Разом	71,09	1,54	18,01	72,00	1,99	14,09	73,27	1,73	14,06	65,73	1,55	16,90	70,44	1,09	11,99	
Стан деревостану	Ослаблений															
За об'ємом стовбурової деревини																
Крона	76,05	2,90	23,01	69,61	3,22	28,75	59,37	3,07	29,90	55,13	4,51	32,07	74,07	2,88	25,99	
Листя	72,60	2,22	21,90	77,14	3,95	29,00	61,81	3,38	30,05	53,96	4,31	31,90	72,57	2,73	26,03	
Гілки	65,89	1,83	22,10	77,78	3,28	28,77	65,35	4,50	31,80	66,67	4,99	33,05	76,00	2,59	26,70	
Разом	73,62	2,22	24,01	75,15	3,11	27,79	65,27	3,90	28,90	56,69	4,38	32,06	72,37	2,66	24,79	
Стан деревостану	Ослаблений															

Продовження табл. 1

1	За сумою площ поперечних перерізів															
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Крона	73,19	4,41	31,02	67,37	2,22	28,01	59,43	2,11	30,39	55,49	1,99	28,03	73,84	4,55	31,00	
Листя	69,74	3,88	30,29	74,78	2,99	27,07	62,26	2,92	31,01	54,42	1,82	27,85	72,14	4,11	30,99	
Гілки	64,94	3,11	29,90	75,40	3,1	28,05	64,40	2,99	31,50	65,90	2,01	29,07	75,80	4,33	31,04	
Разом	71,00	3,9	30,79	72,61	2,81	29,90	64,29	3,01	32,00	57,07	1,55	27,90	71,97	2,98	30,01	
Стан деревостану	Ослаблений															

Примітки: М — середня арифметична; m — абсолютна похибка середньої; V, % — коефіцієнт варіації

визначено як «ослаблений» — 70,44–73,27 у.б. (табл. 3). Найменші показники життєвості за станом крони, листя та гілок демонструють деревні рослини IV дослідної ділянки, що можна пояснити особливостями її розташування (берма відвалу, неподалік від дороги, якою відбувався рух автотранспорту задля відсишки відвалу). Найкращий життєвий стан мають деревні угруповання V дослідної ділянки, що характеризується густим трав'янистим покривом, у якому зустрічаються значні за площею асоціації гідрофітів (очерет звичайний — *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud).

За показниками запасів стовбурної деревини, життєвий стан різних компонентів деревостану має деякі особливості. Показники життєвості крони мають найменші значення в межах III і IV дослідних ділянок — 55–59 у.б. (табл. 3). Найбільші числові значення життєвого стану листя, розраховані за показниками запасів стовбурної деревини, зафіксовані на I, II і V дослідних ділянках. Показники життєвості гілок варіюють від 66 у.б. на I ділянці до 77 у.б. на II і V ділянках.

За показниками суми площ поперечних перерізів, життєвість крони має схожі закономірності з попередніми розрахунками та складає 55 у.б. на IV ділянці та 67–74 у.б. на інших дослідних ділянках (табл. 3). Найменші числові значення життєвого стану листя, розраховані за показниками суми площ поперечних перерізів, зафіксовані на III і IV дослідних ділянках, а найбільші — на II і V дослідних ділянках. Параметри життєвості гілок були найменші в межах IV дослідної ділянки — 57 у.б.

На основі всебічного аналізу та синтезу наявних даних констатуємо «ослаблений» життєвий стан дендрофітоценозів девастрованих земель Петровського відвалу за показниками кількості стовбурів ($70,51 \pm 1,28$ у.б.) і запасів стовбурної деревини ($68,62 \pm 3,43$ у.б.) та суми площ поперечних перерізів ($67,39 \pm 2,98$ у.б.). Середні значення достовірні за $\rho < 0,05$.

За шкалою В. А. Алексеєва, відносний життєвий стан деревних видів рослин, природно поширених на девастрованих землях Петровського відвалу, оцінений як «ослаблений»: 65–71 у.б. Такі чисельні значення життєвості деревних рослин на 21–28% нижчі за контрольні показники (природні угруповання Гурівського лісу). Стан деревних рослин свідчить про відносну сприятливість екологічних умов відвалу для їх росту та розвитку.

Дендрометричні показники деревних рослин, природно поширених на девастрованих землях залізрудного відвалу. Для оцінки інтенсивності росту деревних рослин необхідно провести комплексний

аналіз біометричних показників: щільність деревостану, середня висота, діаметр, запас стовбурної деревини та сума площ поперечних перерізів. Середня висота дерева та діаметр на рівні 1,3 м є важливими незалежними змінними під час прогнозування обсягу стовбурної деревини, біомаси й інших характеристик лісонасадження. Біометричні параметри виражають вегетативний стан рослини, взаємозв'язок рослини з живильним середовищем, стадії розвитку рослини (Benomar *et al.*, 2012; Korshikov & Petrushkevich, 2017).

Досліджені нами дендрофітоценози, природно поширені на різних ділянках девастрованих земель Петровського відвалу, мають типові для умов зростання абсолютні дендрометричні показники (табл. 4). Так, найменша густина деревостану зафіксована на I ділянці, яка знаходиться на першій бермі відвалу, де ще 60 років тому проводилися роботи з відсіпки гірських порід.

Таблиця 4. Дендрометричні показники флори дендрофітоценозів, природно поширених на різних ділянках девастрованих земель Петровського відвалу

Table 4. Dendrometric indicators of the flora of dendrophytocenoses naturally distributed in different areas of the devastated lands of Petrivskiy iron ore dump

Дослідні ділянки	Біометричні параметри дерев				
	Густина насаджень, шт./га	Середня висота, м	Середній діаметр стовбура на рівні 1,3 м, см	Запас стовбурної деревини, м ³ /га	Сума площ поперечних перерізів, м ² /га
I	$\frac{172 \pm 31}{28}$	$\frac{6,28 \pm 0,5}{17,36}$	$\frac{12,46 \pm 1,8}{22}$	$\frac{14,88 \pm 2,70}{35,01}$	$\frac{2,80 \pm 0,45}{23,90}$
II	$\frac{213 \pm 35}{26}$	$\frac{5,42 \pm 0,43}{16,04}$	$\frac{11,80 \pm 1,44}{19,67}$	$\frac{15,76 \pm 2,2}{33}$	$\frac{3,36 \pm 0,79}{30,01}$
III	$\frac{267 \pm 33}{21}$	$\frac{3,97 \pm 0,22}{15,12}$	$\frac{6,92 \pm 0,87}{21,50}$	$\frac{9,46 \pm 1,88}{35,02}$	$\frac{1,97 \pm 0,33}{26,05}$
IV	$\frac{256 \pm 28}{18}$	$\frac{3,46 \pm 0,4}{19,00}$	$\frac{6,54 \pm 0,70}{19,73}$	$\frac{4,74 \pm 0,9}{34}$	$\frac{1,22 \pm 0,5}{39,00}$
V	$\frac{250 \pm 30}{22}$	$\frac{3,93 \pm 0,39}{18,55}$	$\frac{10,02 \pm 1,1}{21,03}$	$\frac{11,03 \pm 2,0}{34,9}$	$\frac{2,85 \pm 0,5}{25,95}$

Примітки: чисельник — середня величина дендрометричних показників; знаменник — коефіцієнт варіації, %

Отримані середні значення у 2,3 рази нижчі, ніж показники густини насаджень, що характерні для лісових фітоценозів Криворіжжя (Savosko & Kvitko, 2017). Найбільша густина стояння стовбурів була зафіксована на III дослідній ділянці, для якої характерна велика кількість молодих дерев. Зважаючи на вік, найбільш високими виявилися дерева I і II дослідних ділянок (табл. 4), відсіпка яких була завершена 50–60 років тому. Натомість найменша висота деревостану була досліджена нами в межах IV дослідної ділянки ($3,46 \pm 0,4$ м), період самозаростання якої не перевищує 45 років.

Встановлено, що деревна рослинність I, II і V ділянок має найбільш солідні числові значення діаметру стовбура — від 10,02 до 12,46 см. На території III і IV дослідних ділянок показники середнього діаметру, як і значення середньої висоти, стабільно залишаються найнижчими, що пояснюється великою кількістю порослі та молодих дерев.

Сума площ поперечних перерізів на 1 га зі збільшенням густоти стояння стовбурів на деяких ділянках збільшується за рахунок наявності зрілих дерев (ділянки II і I). Водночас на інших ділянках фіксуємо велику кількість молодих дерев і зменшення цього показника.

Отже, досліджені нами деревні рослини Петровського залізорудного відвалу мають наступні дендрометричні показники: густина насаджень становить 215–249 шт/га, висота — 4,08–5,14 м, діаметр — 8,33–10,77 см, запас стовбурної деревини складає 9,18–13,16 м³/га та сума площ поперечних перерізів знаходиться в діапазоні 2,05–2,80 м²/га. Отримані розрахунки вказують на суттєвий негативний вплив складних екологічних умов девастрованих земель Петровського відвалу на біометричні параметри дерев, що супроводжується їхнім стрімким зменшенням і нестабільною динамікою, порівняно з дендрометричними показниками природних деревостанів (Гурівський ліс).

Висновки. Узагальнено всі доступні джерела інформації та результати власних досліджень. Експлуатація природно-ресурсного потенціалу зумовила формування техногенно девастрованих земель, які є джерелом постійного забруднення та призводять до елімінації рослинного покриву. У межах тимчасових дослідних ділянок Петровського відвалу природно зростають 22 види деревних рослин (14 родів і 12 родин). Серед них за кількісними показниками значну перевагу мають адвентивні види (63,6%), порівняно з аборигенними (36,4%). Встановлено наявність інвазійних видів серед адвентивної флори відвалу: клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), маслинка вузьколиста (*Elaeagnus angustifolia* L.).

Проаналізовано життєвий стан деревних рослин, що зростають на техногенно порушених землях Петровського відвалу. За шкалою В. А. Алексєєва (1989), відносний життєвий стан флори дендрофітоценозів оцінено як «ослаблений»: 65–71 у. б. Такі чисельні значення життєвості деревних рослин на 21–28% нижчі за контрольні показники (природні угруповання Гурівського лісу). На основі всебічного аналізу та синтезу наявних даних констатуємо «ослаблений» життєвий стан дендрофітоценозів девастрованих земель Петровського відвалу за показниками кількості стовбурів ($70,51 \pm 1,28$ у. б.) і запасів стовбурної деревини ($68,62 \pm 3,43$ у. б.) та суми площ поперечних перерізів ($67,39 \pm 2,98$ у. б.).

З'ясовано, що з погіршенням умов навколишнього середовища суттєво зменшуються біометричні показники дерев: середня густина стояння стовбурів (215–249 шт/га), висота (4,08–5,14 м), діаметр (8,33–10,77 см), запас стовбурної деревини (9,18–13,16 м³/га) і сума площ поперечних перерізів (2,05–2,80 м²/га), порівняно з даними літературних джерел.

Нами проаналізовано 22 види деревних рослин, для яких встановлено показники життєвості та біометричні параметри. Виконані дослідження загалом свідчать про доцільність подальших спостережень за формуванням спонтанних деревно-чагарникових угруповань у межах Петровського відвалу.

References

1. Alekseev, V. A. (1989). Diagnostics of trees and stands vitality state. *Forestry*, 4, 51–57. (in Ukrainian).
2. Benomar, L., DesRochers, A. & Larocque, G. R. (2012). The effects of spacing on growth, morphology and biomass production and allocation in two hybrid poplar clones growing in the boreal region of Canada. *Trees*, 26, 939–949. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0671-6>
3. Bessonova, V. P., Chongova, A. S., & Sklyarenko, A. V. (2020). Influence of multicomponent contamination on the content of photosynthetic pigments in the leaves of woody plants commonly planted for greening of cities. *Biosystems Diversity*, 28 (2), 203–208. <https://doi.org/10.15421/012026>
4. Bhatla, S. C., & Lal, M. A. (2018). Plant physiology, development and metabolism. Singapore, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1>

5. Bielyk, Y., Savosko, V., & Lykholat, Y. (2022). The ecological conditionality of tree vitality indicators and dendrometric parameters of the woody plants community growing naturally on the devastated lands in iron waste rock dump. *Bulletin of Odessa National University. Biology*, 27 (1), 7–23. [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2022.1\(50\).259959](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2022.1(50).259959)
6. Bielyk, Y., Savosko, V., Lykholat, Y., Heilmeier, H., & Grygoryuk, I. (2020). Macronutrients and heavy metals contents in the leaves of trees from the devastated lands at Kryvyi Rih District (Central Ukraine). *E3S Web of Conferences*, 166, 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016601011>
7. Bielyk, Yu. V., Savosko, V. M., & Lykholat, Y. V. (2019). Taxonomic composition and synanthropic characteristic of woody plant community on Petrovsky waste rock dumps (Kryvorizhzhya). *Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District*, 4, 104–113. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2565> (in Ukrainian).
8. Boyce, S. G. (1975). Ecology and Reclamation of Devastated Land. *Forest Science*, 21, 1, 44–45. <https://doi.org/10.1093/forestscience/21.1.44>
9. Danilchuk, N. M. (2020). Species of the genus *Populus* L. in landscaping of city parks and technogenic disturbed lands of Kryvyi Rih (Ukraine), *Danish Scientific Journal*, 42 (1), 8–14.
10. Dement, W. T., Hackworth, Z. J., & Lhotka, J. M. (2020). Plantation development and colonization of woody species in response to post-mining spoil preparation methods. *New Forests*, 51, 965–984. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09769-y>
11. Denysyk, H. I., Yarkov, S. V., & Kazakov, V. L. (2012). *Synthesis of vegetable cover in the landscapes of technogenesis areas*. Edeiveis K, Vinnitsa. (in Ukrainian).
12. Dobrochaeva, D. N., Kotov, M. Y., Prokudyn, Yu. N., & Barbarych, A. Y. (1999). *Opredelytel vysshnykh rastenyi Ukrainy [A Guide to the Identification of higher plants from Ukraine]*. Fitosotsiotsentr, Kyiv. (in Russian).
13. Hancock, G. R., Duque, J. F., & Willgoose, G. R. (2019). Geomorphic design and modelling at catchment scale for best mine rehabilitation — The Drayton mine example (New South Wales, Australia). *Environmental Modelling & Software*, 114 (77), 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.12.003>

14. Hrom, M. M. (2007). *Forest Taxation*. RVV NLTU Ukrainy. (in Ukrainian).
15. Jennifer, R. W., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities “just green enough”. *Landscape and Urban Planning*, 125, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017>
16. Korshikov, I. I., & Krasnoshtan, O. V. (2012). *Viability of arboreal plants on the iron-ore dumps of Krivoy Rog*. Doneck Botanical Garden, Doneck. (in Russian).
17. Korshikov, I. I., & Petrushkevich Yu. M. (2017). Viability of *Betula pendula* Roth. in the urban system of Kryvyi Rih. *Introduction of plants*, 1, 28–35.
18. Kvitko, M. O., & Savosko, V. M. (2018). Ecological features of the relative life state of the forest plantations at Kryvorizhzhya. *Problems of Bioindication and Ecology*, 23 (2), 34–57. <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2018-23/2-03> (in Ukrainian).
19. Mazur, A. Ye., Kucherevsky, V. V., Shol', H. N., Baranets, M. O., Sirenko, T. V., & Krasnoshtan, O. V. (2015). Biotechnology of the iron-ore dump recultivation by creation of steady plants communities. *Science and innovations*, 11 (4), 41–52. <https://doi.org/10.15407/scin11.04.041> (in Ukrainian).
20. Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). *Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist*. M. G. Kholodny Institute of Botany, Kiev.
21. Protopopova, V. V., Shevera, M. V., Fedoronchuk, M. M., & Shevchyk, V. L. (2014). Transformer species in the flora of the Middle Dnipro Region. *Ukrainian Botanical Journal*, 71 (5), 563–572. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.05.563> (in Ukrainian).
22. Protopopova, V. V., & Shevera, M. V. (2019). Invasive species in the flora of Ukraine. I. The group of highly active species. *Geo&Bio*, 17, 116–135. (in Ukrainian).
23. Savosko, V. M. (2011). *Land melioration and phytorecultivation*. Dionis, Kryvyi Rih. (in Ukrainian).
24. Savosko, V. M., & Tovstolyak, N. V. (2017). Ecological conditions of garden and park territories of former iron mines (Kryvyi Rih Basin, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 7 (4), 12–17. (in Ukrainian).

25. Savosko, V. M., & Kvitko, M. O. (2017). The current state of life of the forest cultural phytocenoses of Kryvorizhzhia. *Bulletin of Lviv University. Biological series*, 75, 75–82. (in Ukrainian).
26. Savosko, V., Lykholat, Y., Domshyna, K., & Lykholat, T. (2018). Ecological and geological determination of trees and shrubs' dispersal on the devastated lands at Kryvorizhha. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27 (1), 116–130. <https://doi.org/10.15421/111837> (in Ukrainian).
27. Savosko, V. M., Lykholat, Y. V., & Bielyk, Y. V. (2021). *Foresting of technogenic devastated lands as an effective factor for environmental safety at he mining & metallurgical district. In Effects of pollution and climate change on the ecosystem componenets* (Ed. Y.V. Lykholat, pp. 6–39). Praha, Oktan Print. <https://doi.org/10.46489/EOPACC-1204211>
28. Shupranova, L. V., Lykholat, Y. V., Khromikh, N. O., Grytzaj, Z. V., Alexeyeva, A. A., & Bilchuk, V. S. (2017). Reaction of photosynthetic apparatus of a representative of extrazonal steppe plants *Quercus robur* to air pollution by motor vehicle emissions. *Biosystems Diversity*, 25 (4), 268–273. <https://doi.org/10.15421/011741>
29. The International Plant Names Index (IPNI) — <http://www.ipni.org>.
30. West, P. W. (2009). *Tree and forest measurement*. Berlin Heidelberg Springer-Verlag.

**THE CURRENT STATE OF WOODY PLANT COMMUNITY
GROWING NATURALLY ON THE DEVASTATED LANDS
OF THE IRON DUMP (KRYVYI RIH)**

Yu. V. Bielyk¹, V. M. Savosko², Yu. V. Lykholat¹

¹ — Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

² — Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The article presents the study results of the current condition of the dendrocenoses flora naturally distributed on the devastated lands of Petrivskiy iron ore dump. Taxonomic composition, life status of trees, dendrometric parameters of the studied species were investigated on the example of tree-shrub plant communities of disturbed lands. The research was conducted on devastated areas that were not rehabilitated. 22 species of woody plants (14 genera and 12 families) naturally grow within the temporary experimental plots of the Petrivskiy iron ore dump. Among them adventive species (63.6%) have a significant advantage compared to aboriginal species (36.4%) by quantitative indicators. The vitality of dendrophytocenoses naturally distributed on the devastated lands of Petrivskiy iron ore dump was established according to three criteria: according to the indicators

of the number of trunks (70.51 ± 1.28 conditional points), trunk wood stocks (68.62 ± 3.43 conditional points) and the sum of cross-sectional areas (67.39 ± 2.98 conditional points). The current life status of woody plant species in the iron ore dump according to V. A. Alekseyev's scale (1989) is estimated as "Weakened": 65–71 conditional points. Such numerical values of the vitality of the trees are 21–28% lower than the control indicators (natural community of Gurivka forest). The trees dendrometric parameters on disturbed lands were established (planting density, average height and diameter, sum of cross-sectional areas, stock of trunk wood). In all researched areas, which are characterized by a high level of pollution, the biometric parameters of trees are significantly lower compared to plants growing in a conditionally clean zone. Our results indicate that the ecological conditions of the devastated lands of Petrovsky dump are relatively favourable for the growth and development of woody and shrub plant species.

Key words: tree species, vital condition, taxonomic composition, dendrometric indicators, devastated lands, Petrovsky iron ore dumps, Kryvyi Rih District.

Citation as:

APA Bielyk, Yu. V., Savosko, V. M., & Lykholat, Yu. V. (2022). Suchasnyi stan dendrofitotsenoziv pryrodno poshyrenykh na devastovanykh zemliakh zalizorudnoho vidvalu (Kryvyi Rih) [The current state of woody plant community growing naturally on the devastated lands in iron waste rock dump (Kryvyi Rih)]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 7, 25–43. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v7i0>.

**ДСТУ
8302:2015**

Белик Ю.В., Савосько В.М., Лихолат Ю.В. Сучасний стан дендрофітоценозів, природно поширених на девастрованих землях залізрудного відвалу (Кривий Ріг). *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 25–43.

ТЕРИТОРІАЛЬНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ СТАРОВІКОВИХ ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ

О. О. Красова*, А. О. Павленко

*Криворізький ботанічний сад НАН України,
м. Кривий Ріг, Україна*

Анотація. Старовікові відвали мають суттєву наукову цінність щодо збереження інформації про перебіг пізніх стадій сукцесійного розвитку рослинності та гірничопромислових ландшафтів загалом. Дослідження просторового розподілу рослинності на залізрудних відвалах Криворізького басейну наразі має фрагментарний характер, тому відомості про територіально-структурний аспект організації рослинного покриву таких об'єктів індустріальної спадщини є наступним кроком у пізнанні шляхів їх генезису. Метою роботи є виявлення закономірностей територіальної диференціації рослинності залізрудних відвалів Кривбасу на прикладі дрібних відвалів у балці Північній Червоній і старовинних рудників «Дубова балка» і «Рахманівський». В основу роботи покладені матеріали польових досліджень, проведених у 2016–2021 роках; використано 80 геоботанічних описів і створено 5 великомасштабних картосхем рослинного покриву. За результатами дослідження територіальної диференціації фітоструктур встановлено, що вона обумовлена неоднорідністю екотопів і характеризується дрібноконтурною мозаїчністю. За більш ніж сторічний період саморозвитку цих постмайнінгових ландшафтів із рослинного покриву повністю елімінувалися рудеральні ценоструктури, натомість сформувалися «квазістепові» та петрофітні угруповання, подібні до природних за флористичним складом. У територіальній структурі відвалів на півночі регіону частка лігнозної рослинності є вищою, порівняно з відвалами центральної частини; водночас у північній частині Криворіжжя спостерігається переважання в ценоструктурах представників аборигенної флори. У міру зміщення відвалів на широтному градієнті в південному напрямку у складі лігнозної рослинності зростає участь посухостійких адвентивних видів, а самі контури рослинності змінюються з плато на схили зі сприятливішими мікрокліматичними умовами. Закономірністю територіальної диференціації є наявність на крутих схилах усіх досліджених відвалах значних площ екотопів без рослинності. Подальший етап їх заростання ми пов'язуємо з розвитком деревно-чагарникових угруповань. Перспективи подальших досліджень полягають у використанні їх в організації системи екологічного моніторингу зон техногенезу Криворізького регіону.

Ключові слова: відвали, мозаїчність, ценоструктури, трав'яна та деревно-чагарникова рослинність.

Вступ. Розробка корисних копалин Криворізького залізрудного басейну здійснюється понад 130 років. Освоєння природних ресурсів

із залученням потужної техніки зумовлює виникнення техногенних новоутворень, у яких видозмінені, а то й повністю зруйновані природно обумовлені зв'язки, які властиві зональним біологічним системам. Водночас такі зміни довкілля настільки істотні, що доводиться говорити про виникнення не лише нових техногенних біогеоценозів, але й техногенних неоландшафтів [4]. Дестабілізація природних екосистем під дією антропогенних чинників здійснюється через порушення природних механізмів саморегуляції, які б забезпечували підтримку рівноваги та спроможність структурно-функціонального розвитку як на рівні окремих компонентів, так і системи загалом [23].

Однак, досвід природничих досліджень Кривбасу показав, що з часом, трансформовані гірничовидобувними роботами, землі стають ареною формування вторинних екосистем, розвиток яких підпорядковується загальним природним закономірностям [7]. Рослинний покрив у постмаїнінгових ландшафтах (таких, що виникли після завершення видобування та збагачення корисних копалин) стає потужним фітомеліоративним фактором. Дослідження процесів формування рослинності на постмаїнінгових територіях Кривбасу проводяться у двох основних напрямках: фіторекультивация та спонтанне заростання.

Ґрунтовний ретроспективний аналіз науково-практичних робіт із фіторекультиваци́йної проблематики співробітників кафедри ботаніки й екології Криворізького державного педагогічного університету здійснено Е. О. Євтушенком [30]. Підсумки лісової рекультиваци́ї відвальних ландшафтів Кривбасу підведені Ф. М. Бровком та О. Ф. Бровко [4]. Біотехнологія рекультиваци́ї залізорудних відвалів за допомогою створення стійких трав'янистих рослинних угруповань розроблена колективом авторів Криворізького ботанічного саду НАН України [15].

Щодо розвитку спонтанної рослинності автори публікацій останніх років акцентують на екологічній зумовленості формування деревної та чагарникової рослинності природним шляхом [22], процесі колонізації поверхні відвалів *Betula pendula* Roth. [13], самопідтриманні популяцій трав'яних рослин (*Crambe pontica* Steven ex Rurp., *Hyssopus officinalis* L.), які впродовж трьох десятиліть після проведення рекультиваци́йних експериментів опинилися на шляху саморозвитку [1, 19].

Дослідження просторового розподілу рослинності на залізорудних відвалах Криворізького басейну наразі має фрагментарний характер. Так, О. М. Сметаною зі співавторами доведено, що використання

тривимірною моделювання в дослідженні ґрунтового та рослинного покривів індустріальних об'єктів є більш ефективним, порівняно з планіметричними методами [24]. Доведено, що застосування таких об'ємних моделей необхідне для прогнозування динаміки та шляхів прискорення самозаростання техногенних об'єктів, а також для оцінки якості виконання нанесення родючих і потенційно родючих порід на поверхню техногенно порушених територій [22].

Т. С. Коптевою обґрунтовується наявність висотної диференціації рослинного покриву гірничопромислових ландшафтних комплексів, зокрема, відвалів Бурщицького, Шиманівського та Степового, яка має вираз у приуроченості певних фітоструктур до висотно-ландшафтних мікросмуг [12].

На території Кривбасу збереглися 64 відвали віком понад 100 років [17]. Якщо ці об'єкти індустріальної спадщини не використовують для вторинної переробки, перепрофілювання на смітники, дачні ділянки, сади, городи, вони стають цінними носіями інформації щодо суцесійного розвитку гірничопромислових ландшафтів [29]. З'ясування специфіки просторового розподілу елементів рослинної мозаїки на поверхні старих залізородних відвалів є наступним кроком у пізнанні шляхів їх генезису.

Мета роботи — виявлення закономірностей територіальної диференціації рослинності старовікових залізородних відвалів Кривбасу на прикладі кар'єрно-відвальних комплексів у балці Північній Червоній, «Дубова балка» та «Рахманівський».

Матеріали та методи. В основу роботи покладені матеріали польових досліджень, проведених у 2016–2021 роках на п'яти відвалах у північній, центральній і південній частинах Криворіжжя. Геоботанічні описи (всього 80) виконувались згідно із сучасними методичними рекомендаціями [27]. Картування рослинності відвалів здійснено з використанням ортофотокарт (Google Maps) [14]. Латинські назви рослин подано за номенклатурним зведенням С. Л. Мосякіна та М. М. Федорончука [16].

Результати. Усі старі гірничопромислові ландшафти, порівняно із сучасними, відрізняються незначними розмірами. Зокрема, висоти відвалів обмежуються 10–20 м за ширини й довжини в межах 15–100 м. Відвали мають витягнуту, або округлу подушкоподібну форму [10]. Саме такі параметри притаманні відвалам у балці Північній Червоній і залишкам одноярусного насипу дореволюційного рудника «Дубова балка» (рис. 1).

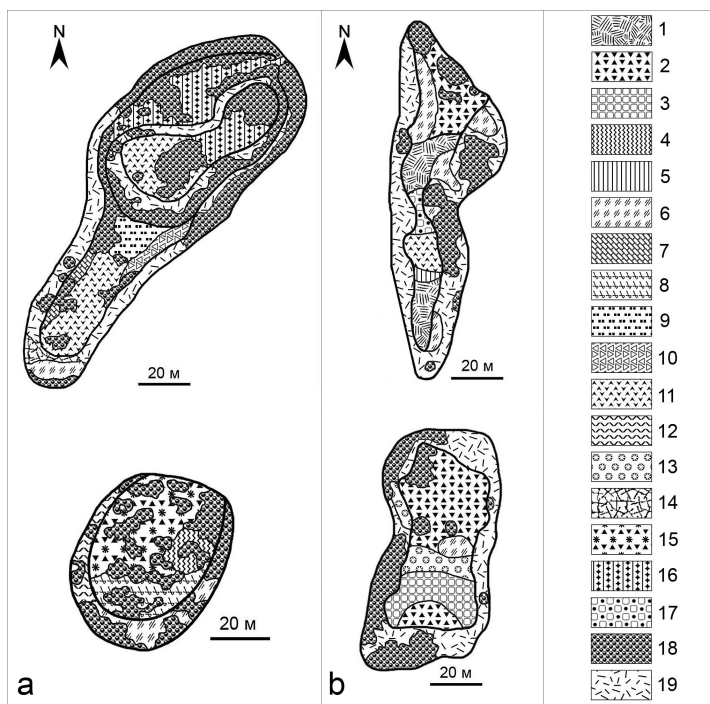


Рис. 1. Картохема рослинного покриття відвалів: а — у балці «Північна Червона»; б — рудника «Дубова балка»

Figure 1. Map scheme of vegetation cover of dumps: a — in the gully “Pivnichna Chervona”; b — in mine “Dubova Balka”

Умовні позначення (групування з домінуванням або переважанням): 1 — *Stipa capillata*; 2 — *Festuca valesiaca*; 3 — *Koeleria cristata*; 4 — *Bromopsis inermis*; 5 — *Poa compressa*; 6 — *Melica transsilvanica*; 7 — *Carex praecox*; 8 — *Teucrium chamaedrys*; 9 — *Medicago romanica*; 10 — *Galatella villosa*; 11 — *Galium ruthenicum*; 12 — *Cephalaria uralensis*; 13 — *Hieracium umbellatum*; 14 — *Euphorbia agraria*; угруповання зі співдомінуванням: 15 — *Festuca valesiaca* + *Pilosella echinoides*, 16 — *Poa compressa* + *Poterium polygamum*, 17 — угруповання *Koeleria cristata* з лишайниковим наземним покритвом; 18 — деревно-чагарникові зарості; 19 — кварцитовий щербінь без рослинності

На відвалах балки Північної Червоної деревно-чагарникові зарості займають найбільшу частку загальної площі. На відміну від інших відвалів основу лігнозних угруповань тут складають аборигенні кущі — *Crataegus fallacina* Klokov, *Swida sanguinea* (L.) Oriz.; кількість

адвентивних видів — *Padellus mahaleb* (L.) Vassilcz, *Cotinus coggygria* Scop., *Elaeagnus angustifolia* L. значно менша. Поодинокі дерева представлені здебільшого *Armeniaca vulgaris* Lam. та *Ulmus minor* Mill.

Трав'яна рослинність на округлому відвалі, розташованому південніше (рис. 1а), репрезентована угрупованнями на відсищі кварцитового щебеню; такі ценоструктури подібні до поширених на природних оголеннях кристалічних гірських порід. У їх складі злаки відіграють другорядну роль; представниками цієї родини є *Poa bulbosa* L., *P. compressa* L., *Melica transsylvanica* Schur. Серед характерних петрофітів місцевої флори тут відмічені *Cephalaria uralensis* (Murr.) Roem. et Schult., *Poterium polygamum* Waldst. et Kit., *Chondrilla juncea* L., *Thymus* × *dimorphus* Klokov et Des.- Shost.

На північнішому відвалі, що має витягнуту форму, частина платоподібних поверхонь відсипана суглинками. Тому, окрім петрофітних, тут близько 20% площі займають угруповання, що за флористичним складом і видовим багатством подібні до степових. У природних межах таких фітоценозів налічується до 45 видів вищих судинних рослин; серед них понад 60% — степанти.

Обидва відвали є місцями зростання созологічно цінних видів — *Astragalus dasyanthus* Pall. (включений до Червоної книги України [6], та Світового червоного списку [9]); *A. pallescens* M. Bieb., *Goniolimon besserianum* (Schult.) Kusn., *Thymus* × *dimorphus* (включені до Червоної книги Дніпропетровської області (ЧКДО) [5].

Два однопоросних відвали дореволюційного рудника «Дубова балка» віком близько 130 років, очевидно, є залишками єдиного геоморфологічного утворення, відсипаного кварцитами з високим вмістом заліза. Схили характеризуються екстремальними умовами: великі площі їх не заростають протягом десятиліть; на їх поверхнях зустрічаються лише окремі особини вищих рослин (переважно *Oberna cserői* (Baumg.) Ikonn. За останні роки розширилася площа оголених схилів унаслідок розробки цих відвалів як вторинних техногенних родовищ. У верхній частині західного схилу зберігся локалітет із досить щільним травостоєм із *Hieracium umbellatum* L.

Деревно-чагарникові куртини з *Ulmus minor* Mill., *U. pumila* L., *Acer negundo* L., Scop., *Elaeagnus angustifolia* L., *Cotinus coggygria* Scop. здебільшого також зосереджені на схилах. Центральна частина північного відвалу являє собою нешироку перемичку. У субстраті цього екотопу запаси вологи інтенсивно витрачаються через бічний стік, тому проєктивне покриття (III) квіткових рослин становить лише 45%, решта поверхні вкрита кіркою лишайників *Cladonia* sp.

На пласких вершинах відвалів сформувалися примітивні кам'янисті ґрунти. Суттєву частку рослинного покриву тут утворюють злаковники з домінуванням *Stipa capillata* L., *Koeleria cristata* (L.) Pers., *Festuca valesiaca* Gaudin. Проективне покриття таких фітоценозів становить 50–85%. Різнотрав'я в їх складі представлене *Seseli campestre* Besser, *Medicago romanica* Prodan, *Galium ruthenicum* Willd., *Euphorbia seguieriana* Neck., *Pilosella echioides* (Lumn.) F. Schultz et Sch. Bip. Відмічені також цибулинні ефемероїди: *Gagea bulbifera* (Pall.) Sallisb. і *G. podolica* Schult. et Schult. f. Кількість видів у цих угрупованнях сягає 20–25.

Ділянки площин із нерозвиненими кам'янистими ґрунтами займають угруповання з переважанням *Melica transsilvanica* й участю *Asperula montana* Waldst. et Kit., *Leontodon biscutellifolius* DC., *Minuartia leiosperma* Klokov, *Thymus × dimorphus*, *Chondrilla juncea*, *Sedum acre* L. Своєрідності петрофітним угрупованням надає суттєва участь *Kohlruschia prolifera* (L.) Kunth (від 3–4 до 10% ПП). Цей стенотопний вид, що зрідка зустрічається на природних кристалічних відслоненнях, включено до офіційного переліку регіонально рідкісних рослин Дніпропетровської області [5].

Висока ценотична різноманітність рослинності одного з відвалів старовинного рудника «Рахманівський», очевидно, пояснюється його розташуванням в зоні ландшафтного екотону на межі Придніпровської височини та Причорноморської низовини й безпосередньому контакту із природною рослинністю балки Галаганової. Відвал однарусний, проте поверхня його вершинного плато має ускладнений мікрорельєф за рахунок пагорбів, здебільшого відсипаних вапняками (рис. 2).

Деревно-чагарникова рослинність, складена переважно *Padellus mahaleb*, *Ulmus minor*, *Armeniaca vulgaris*, зосереджена на крутому схилі західної експозиції, який переходить у борт затопленого кар'єру. Участь лігнозної рослинності на вершинному плато вкрай незначна: до невеликої западини в південній частині відвалу приурочена куртина *Prunus stepposa* Kotov, а у верхів'ї ерозійного рівчачка в північній частині зростає декілька старих кущів *Padellus mahaleb*.

На сформованих примітивних ґрунтах вершинного плато поширені «квазістенові» угруповання, подібні до формацій природної рослинності: *Agropyroneta pectinate*, *Festuceta valesiaca*, *Jurineeta brachycephalae*, *Stipeta capillatae*, *Stipeta lessingiana*, *Koelerieta cristatae*. Як видно з рис. 2, саме ценози з домінуванням *Koeleria cristata* займають найбільшу площу в територіальній структурі рослинного покриву.

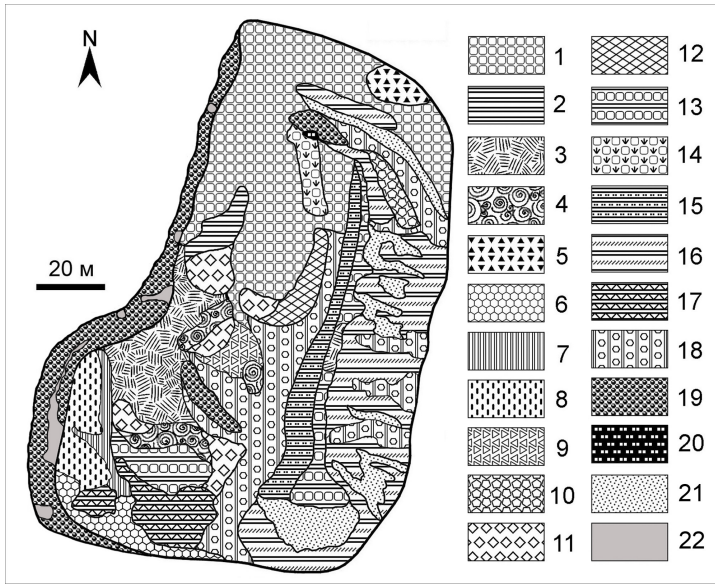


Рис. 2. Картосхема рослинного покриття відвалу кар'єрно-відвального комплексу «Рахманівський»

Figure 2. Map scheme of vegetation cover of a dump of quarry-dump complex "Rakhmanivskiy"

Умовні позначення (угруповання з домінуванням або переважанням): 1 — *Koeleria cristata*; 2 — *Agropyron pectinatum*; 3 — *Stipa capillata*; 4 — *Stipa lessingiana*; 5 — *Festuca valesiaca*; 6 — *Elytrigia intermedia*; 7 — *Poa angustifolia*; 8 — *Jurinea brachycephala*; 9 — *Galatella villosa*; 10 — *Tanacetum millefolium*; 11 — *Convolvulus lineatus*; 12 — *Ajuga chia*; угруповання зі співдомінуванням: 13 — *Agropyron pectinatum* + *Koeleria cristata*; 14 — *Koeleria cristata* + *Artemisia santonica*; 15 — *Agropyron pectinatum* + *Medicago romanica*, 16 — *Kochia prostrata* + *Agropyron pectinatum*, 17 — *Agropyron pectinatum* + *Cephalaria uralensis*; 18 — *Elytrigia repens* + *Poa angustifolia*; 19 — деревно-чагарникові зарості; 20 — мікроценоз *Sempervivum ruthenicum*; 21 — суглинистий субстрат без рослинності; 22 — вапняковий субстрат без рослинності

Суттєву частку площі вершинного плато займають ділянки карбонатопетрофільної рослинності на вапняковій відсищі. Характерними видами тут є *Jurinea brachycephala* Клокков, *Haplophyllum suaveolens* (DC.) G. Don. f., *Convolvulus lineatus* L. Найбільші площі серед них займають розріджені угруповання *Cephalaria uralensis*.

Уламки кристалічних порід на цьому відвалі відсипались у невеликій кількості. Наразі відбувається їх гіпергенез із вивільненням фітотоксичних солей, що спричинює локальну появу галофільного виду *Artemisia santonica* L. Щодо силікопетрофітних ценоструктур на відсищі кварцитів, то вони представлені єдиним мікроценозом, сформованим *Sempervivum ruthenicum* Schnittsp. et C. V. Lehm.

Мезоксерофітні злаковники з домінуванням *Elytrigia intermedia* та *Poa angustifolia* зосереджені в південній частині відвалу, де штучно створений укіс переходить у схил південної експозиції балки. Сприятливіший для розвитку ксеромезофітних угруповань гідротермічний режим створюється на схилі північної експозиції та на днищі одного з ярів, де спостерігається початок задерніння субстрату *Elytrigia repens* і *Poa angustifolia*.

Схил східної експозиції відсипаний лесовидними суглинками, які досить легко розмиваються дощовими і талими сніговими водами, унаслідок чого вся його поверхня вкрита ерозійними рівчачками. Гребені між рівчачками частково закріплені від розмиву фрагментарними заростями *Kochia prostrata* (L.) Schrad. та *Agropyron pectinatum* (M. Bieb) P. Beauv.: така рослинність характерна для природних лесових оголень півдня степової зони України.

Созологічно цінні рослинні раритети на цьому відвалі представлені 8 видами, включеними до ЧКДО [20]. Окрім ценозоутворювачів *Stipa capillata*, *S. lessingiana* (на їх належність до «червоних списків» вищих рангів вказано вище) і *Jurinea brachycephala*, у трав'яних угрупованнях часто зустрічаються *Centaurea orientalis* L., *Convolvulus lineatus*, *Haplophyllum suaveolens* (DC.) G. Don. f., *Sempervivum ruthenicum*. Щодо останнього виду — це єдина відома нам знахідка його в постмайнінговому ландшафті. На обласному рівні охороняється також *Rosa bordzilowskii* Chrshan. — кущ, що розсіяно зростає на всій поверхні відвалу.

Обговорення. Провідним чинником диференціації рослинності в умовах степової зони, як відомо, є гідротермічний режим [3]. Однак на відвалах детермінуючий вплив на розподіл рослинних структур чинить екотопічна неоднорідність ландшафту, зокрема складний рельєф, різний рівень зволоження, літохімічна строкатість [25]. На старовікових відвалах відбувається формування специфічних структур ґрунтового покриву. Кінцевою стадією ґрунтоутворення є ґрунтові тіла, за будовою подібні до природних дерново-степових. У їх приповерхневому шарі спостерігається значний уміст гумусу, що зумовлено помітним надходженням на поверхню органічного

опаді від рослинності, активною деструкцією органіки, слабкою риючою діяльністю фауни тощо [8]. Оскільки територіальна структура рослинності є «відбитком» із матриці ландшафту, за таких екоотічних умов вона набуває дрібноконтурної мозаїчності.

Вважається, що швидкість формування рослинного покриву відвалів значною мірою обумовлюються наявністю або відсутністю безпосереднього контакту їх територій із природними ландшафтами [11, 18]. Однак, отримані нами дані свідчать, що це ствердження не завжди є справедливим. Якщо пояснення високого видового та ценотичного різноманіття рослинності постмаїнінгових ландшафтів, прилеглих до територій балок Північної Червоної та Галаганової, цілком зрозуміле, то подібне явище для відвалів рудника «Дубова балка» з цим положенням не узгоджується. Адже ці відвали «затиснуті» між двома залізничними коліями; на північ від них на кілька кілометрів простягається житлова забудова, а на південь — гірничі техногенні ландшафти. Відповідь на це питання, імовірно, знаходиться у площині виявлення механізмів міграції діаспор. Раніше нами було показано, що в постмаїнінгових ландшафтах за типами діаспорохорії домінують «облігатні» балісти (37,5% видів); «облігатні» анемохори посідають друге місце (25%), а частка зоохорів складається лише із 7,5% видового складу рослинності [20]. Перевагу у приживанні мають види, у яких поєднується кілька можливих способів поширення, тобто ті, яким притаманні змішані типи діаспорохорії.

Антропоїчним фактором впливу на територіальну структуру рослинності виступає рекультивація, зокрема лісова. Новим викликом для існування лісової рослинності у вододіфіцитних девастованих ландшафтах є сучасні зміни клімату [2]; згідно з цим поглядом, деревно-чагарникову рослинність старовікових відвалів доцільно розглядати як «адаптовані лісові структури». Слід зазначити, що деякі автори цілком слушно розглядають спонтанне деревне заростання відвалів як альтернативу штучному залісненню [26, 31]. Проведене нами детальне картування рослинного покриву старовікових відвалів дозволило виявити, що в територіальній структурі відвалів на півночі регіону (за сприятливого гідротермічного режиму) частка лігнозної рослинності є вищою, порівняно з відвалами центральної частини. Водночас тут спостерігається переважання в ценоструктурах представників аборигенної флори. У міру зміщення відвалів на широтному градієнті в південному напрямку у складі лігнозної рослинності зростає участь посухостійких адвентивних видів, а самі контури рослинності зміщуються з плато на схили зі сприятливішими мікрокліматичними умовами.

Сукцесійні процеси в межах екотопів зі специфічними ґрунтами, подібними до дерново-степових (переважно на горизонтальних площинах), призвели до формування трав'яних ценоструктур, що мають ознаки степової стадії розвитку. На субстратах, які не зазнали суттєвих ґрунтотвірних процесів, наявна петрофітна рослинність, що наближена до природних аналогів. Тому ми цілком погоджуємося із твердженням С. В. Яркова, що відвальні геосистеми Кривбасу вже є і в майбутньому можуть стати рефугіумами (сховищами) для зональної й азональної флори та рослинності Криворізького регіону [28].

Висновки. Отже, територіальний розподіл рослинних структур на відвалах старовинних рудників Криворіжжя, обумовлений неоднорідністю екотопів, характеризується дрібноконтурною мозаїчністю.

За більш ніж сторічний період саморозвитку цих постмайнінгових ландшафтів із рослинного покриву повністю елімінувалися рудеральні ценоструктури, натомість сформувалися «квазістепові» та петрофітні угруповання, подібні до природних за флористичним складом.

У територіальній структурі відвалів на півночі регіону частка лігнозної рослинності є вищою, порівняно з відвалами центральної частини; водночас у північній частині Криворіжжя спостерігається переважання в ценоструктурах представників аборигенної флори. У міру зміщення відвалів на широтному градієнті в південному напрямку у складі лігнозної рослинності зростає участь посухостійких адвентивних видів, а самі контури рослинності зміщуються з плато на схили зі сприятливішими мікрокліматичними умовами.

Закономірністю територіальної диференціації є наявність на крутих схилах усіх досліджених відвалах значних площ екотопів без рослинності. Подальший етап їх заростання ми пов'язуємо з розвитком деревно-чагарникових угруповань.

Перспективи подальших досліджень полягають у використанні їх в організації системи екологічного моніторингу зон техногенезу Криворізького регіону.

References

1. Baranets, M. O., & Korshykov, I. I. (2020). Formuvannia y samopidtrymannia populiatsii *Hyssopus officinalis* L. v umovakh zalizadorudnogo vidvalu Kryvorizhzhia [Formation and self-maintenance of the population *Hyssopus officinalis* L. in conditions of the iron ore dump of Kryvyi Rih area]. *Visnyk Kharkivs'koho natsionalnogo*

- universytetu imeni V. N. Karazina. Seriya "Biolojiya" [The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Biology"]*, 34, 43–51. <https://doi.org/10.26565/2075-5457-2020-34-5> (in Ukrainian).
2. Bashutska, U. B., & Schilling, A. (2022). Planuvannia ta zdiysnennia lisovoi rekul'tyvatsii porushenykh zemel' Luzhyts'koho burovuhil'noho baseynu (Skhidna Nimechyna) [Planning and implementation of forest reclamation of disturbed lands of the Lusatian lignite basin (East Germany)]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of UNFU]*, 32, 3, 26–31. <https://doi.org/10.36930/40320304> (in Ukrainian).
 3. Biotopes of Steppe zone of Ukraine (2020). Ed. Ya. P. Didukh. Kyiv–Chernivtsi, DrukArt, 392.
 4. Brovko, F. M., & Brovko, O. F. (2019). Lisova rekul'tyvatsiya vidval'nykh landshaftiv Kryvbasy [Forest reclamation of wasteland landscapes of Kryvyi Rih Iron Ore Basin]. Publishing House "Kondor", 204. (in Ukrainian).
 5. Chervona knyha Dnipropetrovs'koi oblasti (roslynniy svit) [Red Book of Dnipropetrovsk region (vegetable kingdom)]. (2020). Ed. A. P. Travleev. Dnipropetrovs'k : Balans-Klub, 500. (in Ukrainian).
 6. Chervona knyha Ukrainy. Roslynniy svit [Red Data Book of Ukraine. Vegetable Kingdom]. (2009). Ed. Ya. P. Didukh. Kyiv, Hlobalkonsal'tynh, 912. (in Ukrainian).
 7. Denysyk, H. I., & Zadorozhnia, H. M. (2013). Pokhidni protsesy ta yavyscha u landshaftakh zon tekhnogenezu [Derived processes and phenomena in landscapes of technogenesis zones]. Vinnytsia : Edelveys i K, 220. (in Ukrainian).
 8. Dolina, O. O., & Smetana, O. M. (2014). Terytorial'na struktura ta klasyfikatsiya gruntiv Kryvoriz'koho zalizorudnoho baseynu [Territorial pattern and classification of soils of Kryvyi Rih Iron-Ore Basin]. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Seriya Biolojiya, ekolojiya [Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology, ecology]*, 22 (2), 161–168. <https://doi.org/10.15421/011423> (in Ukrainian).
 9. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-1 [Electronic resource]. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Mode of access: <http://www.iucnredlist.org/>. Accessed by 6 April 2020.

10. Kazakov, V. L. (2010). Kryterii chasovoi identyfikatsii obyektiv industrial'noi spadshchyny na prykladi Kryvbasu [Criteria for temporary identification of objects of industrial heritage (for example Krivbass)]. *Naukovi zapysky Vinnyts'koho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu imeni M. Kotsiubyns'koho. Seriya Heohrafiya* [Scientific notes of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Series Geography], 21, 98–105. (in Ukrainian).
11. Komissova, T. Ye., Gubskaya, O. P., & Kucher, O. O. (2015). Napriamok suktsesiynykh protsesiv na terytoriyakh vidvaliv vuhil'nykh shakht m. Krasnodona Luhans'koi oblasti [The direction of the successional processes on the territories of dumps of coal mines in Krasnodon, Luhansk region]. *Biolohiya ta valeolohiya. Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho natsional'noho pedahohichnoho universytetu imeni H. S. Skovorody* [Biology and valeology. Collection of scientific works of Kharkiv Hryhoriy Skovoroda National Pedagogical University], 17, 62–68. (in Ukrainian).
12. Koptieva, T. S. (2022). Gruntovo-roslynnyi pokryv hirnychopromyslovykh landshaftiv Soil and vegetation cover of mining landscapes of Kryvyi Rih landscape technical system (on the example of Burshchytyskyi, Shymakivskyi and Stepovyi dumps). In: *The current state of fundamental and applied natural sciences research : Scientific monograph*. Riga : Baltija Publishing, 2022, 178–203. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-212-8-9> (in Ukrainian).
13. Korshykov, I. I., & Petrushkevych, Yu. M. (2020). Populiatsiyna struktura *Betula pendula* (*Betulaceae*) na zalizorudnykh vidvalakh Kryvorizhzhia [Population structure of *Betula pendula* (*Betulaceae*) on iron ore mine dumps (tailings) of the Kryvyi Rih area]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian botanical journal], 77 (2), 90–103. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.02.090> (in Ukrainian).
14. Kuzemko, A. A., Didukh, Ya. P., Onyshchenko, V. A., & Sheffer, Ya. (eds.). (2018). Natsional'nyi katalog biotopiv Ukrainy [National Habitat Catalogue of Ukraine]. Kyiv, FOP Klymenko Yu. Ya., 442. (in Ukrainian).
15. Mazur, A. Yu., Kucherevskyi, V. V., Shol', H. N., Baranets, M. O., Sirenko, T. V., & Krasnoshtan, O. V. (2015). Biotekholohiya rekul'tyvatsii zalizorudnykh vidvaliv shliakhom stvorennia stiykykh roslynnykh uhrupovan' [Biotechnology of the iron-ore dump recultivation by creation of steady plants communities].

- Nauka ta innovatsii [Science and innovations]*, 11 (4), 41–52. <http://dx.doi.org/10.15407/scin11.04.041> (in Ukrainian).
16. Mosyakin, S. L., & Fedoronchuk, M. M. (1999). Vascular plants of Ukraine: A nomenclatural checklist. Kyiv, 345.
 17. Patsiuk V., & Kazakov V. (2017). Chy mozhe industrial'nyi turyzm zminyty oblychchia Kryvoho Rohu? [Whether can industrial tourism change the face of Kryvyi Rih?] In: *Urbanistychna Ukraina: v epitsentri prostorovykh zmin [Urbanistic Ukraine: at the epicenter of spatial changes : monograph]*. Eds. K. Mezentsev, Ya. Oliynyk, N. Mezentseva. Kyiv, “Fenix”, 378–393. (in Ukrainian).
 18. Pavlenko, A. O., Krasova, O. O., & Korshykov, I. I. (2017). Synhenetychni protsesy na zalizorudnykh vidvalakh pivnichnoi chastyny Kryvorizhzhia [Syngeneses processes on iron ore dumps in the northern part of Kryvyi Rih area]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal [Ukrainian botanical journal]*, 74 (4), 360–372. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.04.360> (in Ukrainian).
 19. Pavlenko, A., & Krasova, O. (2021). Stan introduktsiynoi populatsii *Crambe pontica* Steven ex Rupr. na zalizorudnomu vidvali (Kryvyi Rih) [The state of introduced population of *Crambe pontica* Steven ex Rupr. on an iron ore waste dump (Kryvyi Rih)]. *Ekolohichni nauky [Ecological Sciences]*, 2 (35), 54–59. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.2-35.9> (in Ukrainian).
 20. Pavlenko, A. O., Krasova, O. O., Korshykov, I. I., & Baranets, M. O. (2020). Sozofity u postmayninhovykh landshaftakh Kryvbasu [Sozophytes in postmining landscapes of Kryvyi Rih basin]. *Visnyk Odes'koho natsional'noho universytetu. Biologiya [Odesa National University Herald. Biology]*, 25, 1 (46), 23–41. [https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.1\(46\).205802](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2020.1(46).205802) (in Ukrainian).
 21. Prisyazhnyuk, T. M., Dolina, O. O., & Bondarenko, A. M. (2019). Otsinka stupeniu vidnovlennia industrial'nykh landshaftiv na osnovi biomasovykh kharakterystyk roslynnosti ta tryvymirnoho modeliuвання gruntovoho pokryvu [Estimation of the degree of industrial landscapes restoration based on biomass vegetation characteristics and three-dimensional soil cover modeling]. *Chornomorski Bot. J.*, 15 (4), 351–361. <https://doi.org/10.32999/ksu1990-553X/2019-15-4-4> (in Ukrainian).
 22. Savosko, V., Lykholat, Yu., Domshyna, K., & Lykholat, T. (2018). Ekolohichna ta heolohichna zumovenist' poshyrennia derev i

- chaharnykyv na devastovanykh zemliakh Kryvorizhzhia [Ecological and geological determination of trees and shrubs dispersal on the devastated lands at Kryvorizhzhia]. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27 (1), 116–130. <https://doi.org/10.15421/111837> (in Ukrainian).
23. Shapar, A. G., & Mikheyev, A. V. (2018). Kontseptual'ni pidkhody do rozuminnia protsesiv antropohennoi destabilizatsii ekolohichnykh system [Conceptual approaches to understanding of processes of anthropogenic destabilization of ecological systems]. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 3, 56–66. <https://doi.org/10.15407/visn2018.03.056> (in Ukrainian).
24. Smetana, A., Dolina, A., & Yaroschuk, Y. (2013). 3-D models using in the soil and plant covers topological organization analyse [Ispolzovanie 3-D modeley v analize topologicheskoy organizatsii pochvennogo i rastitelnogo pokrova]. *Bulletin of DSAEU [Visnyk DDAEU]*, 2 (32), 12–18. (in Russian).
25. Smetana, A. N., Dolina, A. A., & Yaroschuk, Y. V. (2013). Dyferentsiatsiya ekotopiv posttekhnohennykh landshaftiv (hthro- ta litokhimichniyi aspekt) [Differentiation of post-industrial landscape ecotopes (humidity and lithochemical aspect)]. *Pytannia bioindykatsii ta ekolohii [Problems of bioindications and ecology]*, 18 (1), 9–13. (in Ukrainian).
26. Woźniak, G., Chmura, D., Dyderski, M. K., Błońska, A., & Jagodziński, A. M. (2022). How different is the forest on post-coal mine heap regarded as novel ecosystem? *Forest Ecology and Management*, 515. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118951>
27. Yakubenko, B. Ie., Popovych, S. Iu., Ustymenko, P. M., Dubyna, D. V., & Churilov, A. M. (2018) Geobotany: methodical aspects of researches. Text-book. Kyiv : Lira K, 316. (in Ukrainian).
28. Yarkov, S. V. (2007). Hirnychopromyslovi landshafty Kryvbasu yak refuhiumy zonal'noi roslynnosti [Mining landscapes of Kryvbas as refugia of zonal vegetation]. *Heohrafichni doslidzhennia Kryvbasu: materialy kafedral'nykh naukovo-doslidnyts'kykh tem [Geographical studies of Kryvyi Rih Iron Ore Basin: materials of cathedral scientific research topics]*, issue 2. Kryvyi Rih, Vydavnychiy dim, 27–35. (in Ukrainian).
29. Yarkov, S. V. (2013). Rozvytok mishanykh za substratom 20-40-rychnykh vidal'nykh landshaftiv Kryvorizhzhia [Development of mixed-substratum 20-40-year-old dump landscapes of Kryvorizhzhia]. *Naukovi*

zapysky Ternopi'skoho natsional'noho pedahohichnoho universytetu. Seriya Heohrafiya [Scientific notes of Ternopil' National Pedagogical University. Series Geography], 2 (35), 23-30. (in Ukrainian).

30. Yevtushenko, E. O. (2020). History of phytoremediation research and project activity in department of botany and ecology at Kryvyi Rih state pedagogical university [Istoriya fitorekul'tyvatsiynykh doslidzhen' i proektnoi diyal'nosti kafedry botaniky ta ekolohii Kryvoriz'koho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu]. *Ekolohichniy visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District], 5, 13-30.* <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v5i0.4351> (in Ukrainian).
31. Zapata-Carbonell, J., Bégeot, C., Carry, N., Choulet, F., Delhaultal, P., Gillet, F., Girardclos, O., Mouly, A., & Chalot, M. (2019). Spontaneous ecological recovery of vegetation in a red gypsum landfill: *Betula pendula* dominates after 10 years of inactivity. *Ecological Engineering, 132, 31-40.* <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.03.013>

TERRITORIAL DIFFERENTIATION OF KRYVBAS OLDEN DUMPS VEGETATION COVER

O. O. Krasova, A. O. Pavlenko

Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. Old age dumps have significant scientific value in terms of preserving information about the course of the late stages of successional development of vegetation and mining landscapes in general. The study of the spatial distribution of vegetation on the iron ore dumps of the Kryvyi Rih Iron Ore Basin is currently fragmentary, so information on the territorial and structural aspect of the vegetation cover organization such objects of industrial heritage is the next step in learning the ways of their genesis. The aim of the work is to identify the patterns of territorial differentiation of iron ore dumps vegetation in Kryvyi Rih Iron Ore Basin using the examples of small dumps in the gully Pivnichna Chervona and the olden mines “Dubova balka” and “Rakhmanivskiyi”. The work is based on the materials of field research conducted in 2016–2021; 80 geobotanical descriptions were used and 5 large-scale vegetation maps were created. The results of the territorial differentiation research of phytostructures, it was established that it is caused by the heterogeneity of ecotopes and is characterized by a fine-contour mosaic. Over a hundred-year period of self-development of these post-mining landscapes, ruderal cenostructures were completely eliminated from the vegetation, instead, “quasi-steppe” and petrophytic communities, similar to natural ones in terms of floral composition, were formed. The share of woody vegetation is higher in the territorial dumps structure in the north of the region, compared to the dumps in the central part; at the same time, in the northern part of Kryvyi Rih there is a predominance of representatives of the aboriginal flora in the cenostructures. The presence of drought-resistant adventitious species in the woody vegetation increases as the dumps move south along the

latitudinal gradient and the contours of the vegetation themselves shift from the plateau to the slopes with more favourable microclimatic conditions. The regularity of territorial differentiation is the presence of significant areas of ecotopes without vegetation on the steep slopes of all the investigated dumps. We associate the further stage of their overgrowth with the development of tree-shrub communities. Prospects for further research are to use them in the organization of the ecological monitoring system of technogenesis zones of the Kryvyi Rih region.

Key words: dumps, mosaic, coenostuctures, herbal and tree-shrub vegetation.

Citation as:

Krasova, O. O., & Pavlenko, A. O. (2022). Terytorialna dyferentsiatsiia roslynnoho pokryvu starovikovykh vidvaliv kryvbasu Territorial differentiation of vegetation cover of ancient Kryvbas dumps [Territorial differentiation of Kryvbas olden dumps vegetation cover]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 7, 44–59. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v7i0>.

**ДСТУ
8302:2015**

Красова О.О., Павленко А.О. Територіальна диференціація рослинного покриття старовікових відвалів Кривбасу. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 44–59.

ВПЛИВ ЗАБРУДНЮВАЧІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА РОЗВИТОК ОКСИДАТИВНОГО СТРЕСУ ТА НАГРОМАДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ЛИСТКАХ КВІТНИКОВО-ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН

О. М. Зубровська*

*Криворізький ботанічний сад НАН України,
м. Кривий Ріг, Україна*

Анотація. У роботі представлені результати аналізу акумуляції важких металів і розвитку процесів оксидативного стресу в листках двох видів роду *Hemerocallis*, які зростали поблизу гірничо-збагачувального підприємства. В умовах промислового забруднення встановлено видоспецифічний характер накопичення важких металів асиміляційними органами квітничково-декоративних рослин. Доведено, що *H. middendorffii* протягом усієї вегетації максимально концентрував у своїх листках більшість токсичних елементів. Водночас високий уміст полутантів практично не впливав на загальний вигляд рослин цього виду. Різна інтенсивність акумуляції іонів важких металів листками лілійників зумовлювала й певний ступінь зростання вільнорадикальних реакцій-відповідей на вплив стресору. Для обох досліджуваних видів встановлено рівномірне статистично достовірне зростання процесів пероксидного окиснення ліпідів від фази початку формування бутону до фази визрівання плодів, на що вказує вміст ТБК-активних сполук у листках рослин. Так, у *H. middendorffii*, не зважаючи на активне поглинання більшості токсичних елементів, розвиток оксидативного стресу знаходився на певному стаціонарному рівні, а кількість ТБК-активних сполук протягом усього періоду досліджень перевищувала контрольні показники лише у 1,2–1,4 раза. На відміну від цього, *H. lilioasphodelus* виявився чутливішим до стресової дії промислових забруднювачів. Навіть незначний рівень цинку, нікелю, плумбуму, купрум та кадмію на тлі високого вмісту феруму в листках виду сприяли збільшенню інтенсивності утворення вільнорадикальних процесів удвічі. У ролі перспективного виду як для озеленення промислових територій підприємств гірничо-збагачувального комплексу, так і у фітореMediaційній техніці на урбанізованих територіях можемо рекомендувати використання *H. middendorffii*, який володіє досить високою стійкістю до негативного впливу промислових забруднювачів із вмістом важких металів.

Ключові слова: важкі метали, *Hemerocallis* L., пероксидне окиснення ліпідів, ТБК-активні сполуки.

Вступ. Деградація ґрунтів і рослинного покриву внаслідок техногенної діяльності людини є однією з найважливіших екологічних проблем сьогодення [15]. Дослідження в цьому напрямку особливо актуальні для промислових регіонів, як-от Криворіжжя, адже для них характерне забруднення довкілля промисловими пиловими викидами із вмістом важких металів, що призводять до нагромадження в оточуючому середовищі хімічних сполук у невластивих природі сполученнях [24]. Не зважаючи на те, що в останні роки завдяки впровадженню на промислових підприємствах Кривого Рогу сучасних очисних споруд чи оновлення вже існуючих, хоч і відбувається скорочення обсягів потрапляння в атмосферне повітря твердих часток, однак загальні обсяги надходження важких металів із промисловими викидами до атмосферного повітря в місті лишаються доволі суттєвими [9]. Найпотужнішими забруднювачами довкілля в межах міста є гірничо-збагачувальні комбінати, які входять до переліку екологічно небезпечних об'єктів Дніпропетровської області [8]. Основна кількість токсичних речовин із цих підприємств потрапляє у вигляді техногенного пилу в атмосферу і в такий спосіб розповсюджується в біосфері [14]. У пилоподібних промислових викидах можуть міститися сполуки плумбуму, кадмію, купруму, цинку, нікелю та феруму, які займають провідне місце серед забруднювачів і найінтенсивніше залучаються до біогеохімічного кругообігу [10, 18].

Наявність у навколишньому середовищі зазначених сполук у надлишкових концентраціях безпосередньо впливає на ріст і розвиток рослин у промислових центрах і призводить до істотних порушень фізіолого-біохімічних процесів у їх клітинах [25, 30, 36]. Як наслідок, у відповідь на вплив важких металів у рослинних організмах виникає активація вільнорадикальних процесів і відбувається зміщення про-/антиоксидантної рівноваги в бік збільшення інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ) [11, 26], що є сигналом до запуску відповідних механізмів багатокomпонентної системи захисту рослин [29]. Більшість науковців розглядають активацію процесів ПОЛ як одну з ключових ланок між стресовим впливом і реалізацією захисних реакцій організму. Продукти ПОЛ, зокрема ТБК-активні сполуки, можуть бути як «індикаторами», так і «первинними медіаторами» стресової дії на рослинні організми різних чинників [1, 2]. Кількість саме ТБК-активних сполук вважається важливим

показником ступеня впливу різних факторів на організм, і його визначення дозволяє певною мірою оцінити функціональний стресовий стан рослин і потенціал видів щодо фізіологічної адаптації [33].

Саме тому рослини, які використовуються для озеленення територій промислових міст, повинні мати високу стійкість до аерогенного забруднення, здатність поглинати забруднюючі речовини з атмосфери та ґрунту, рости на ґрунтах із домішками будівельного сміття і низьким умістом поживних речовин, а також мати високу декоративність [4, 36]. Серед найбільш перспективних видів квітниково-декоративних рослин для використання у складі зелених насаджень різного цільового призначення є види роду *Hemerocallis* L. [5, 6], які мають достатньо швидкі темпи росту, високі декоративні якості і, крім того, стійкі до промислового забруднення та невибагливі до ґрунтів [17, 32].

Оскільки поглинання важких металів видо- й елементоспецифічне, встановлення динаміки акумуляції нікелю, кадмію, плумбуму, купруму, феруму та цинку, а також характеру вільнорадикальних процесів у листках квітниково-декоративних рослин в умовах поліметалічного стресу є досить актуальними у практичному сенсі як для розробки асортименту стійких видів для озеленення міських територій і санітарно-захисних зон промислових підприємств, так і для використання їх у ролі біоіндикаторів стану довкілля.

Мета роботи — дослідити особливості акумуляції важких металів і розвиток оксидативного стресу в асиміляційних органах деяких видів лілійнику, що зростають поблизу гірничо-збагачувального підприємства.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом дослідження були 5-річні рослини видів роду *Hemerocallis* L. — *H. middendorffii* Trautv. & С. А. Меу. та *H. lilioasphodelus* L. Рослинний матеріал квітниково-декоративних рослин, що зростають в умовах промислового забруднення поблизу РЗФ-1 ВАТ «Північний ГЗК» і на ділянці умовного контролю (Криворізький ботанічний сад НАН України), для проведення аналізів відбирали у фазу початку формування бутону (B_1), фазу початку цвітіння ($Ц_1$) та у фазу визрівання плодів ($П_2$).

Накопичення нікелю, кадмію, плумбуму, купруму, феруму та цинку в рослинному матеріалі оцінювали з використанням методичних вказівок щодо визначення важких металів у ґрунтах сільськогосподарських угідь і продукції рослинництва [22]. Підготовка проб для аналізу проводилася за допомогою кислотної екстракції азотною кислотою (розведення 1 : 1). Мінералізація проб проводилася методом сухого озолення за ДСТ 26657-85 [12]. Подальше визначення

концентрації важких металів проводилося на атомно-адсорбційному спектрофотометрі С-115 (Україна). Рівень ТБК-активних сполук визначали за методом, який ґрунтується на утворенні забарвленого комплексу за взаємодії малонового діальдегіду з тіобарбітуровою кислотою [23]. Уміст білка в гомогенатах рослинних тканин визначали методом Ch. S. Greenberg [13] за реакцією білка з бромфеноловим синім. Калібрувальну криву будували методом стандартних розведень сироваткового альбуміну білка. Повторність у межах окремого варіанта дослідю складала 50 рослин, аналітична повторність — 4-кратна. Статистичну обробку даних проводили за методами параметричної статистики [35] з вираховуванням t -критерію Стьюдента за рівня значущості $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення. Дослідження ступеня адаптивних реакцій рослин на дію важких металів не можливе без з'ясування особливостей накопичення останніх рослинними організмами. Аналіз біологічної акумуляції елементів в асиміляційних органах контрольних рослин (табл. 1) свідчить, що протягом усього періоду досліджень у листках найінтенсивніше нагромаджувався ферум. Серед видів лілійнику у фазу початку формування бутону найбільший його вміст був притаманий *H. middendorffii* (86,17 мкг/г сирої речовини), водночас на наступних етапах морфогенезу максимальний рівень феруму зафіксований у листках *H. lilioasphodelus* (168,14 і 175,03 мкг/г сирої речовини у фазі початку цвітіння та визрівання плодів відповідно).

Зауважимо, що для рослин *H. middendorffii* в умовах контролю взагалі характерним було інтенсивне нагромадження в листках більшості досліджуваних металів за виключенням кадмію, максимальна концентрація якого спостерігалася в асиміляційних органах *H. lilioasphodelus*. Найменше в листках лілійників обох видів містилося нікелю (1,0–2,9 мкг/г сирої речовини), показники біологічної акумуляції якого для обох видів роду *Hemerocallis* протягом усього дослідження були ідентичними. Оскільки нікель характеризується високою мобільністю в рослинах [27], імовірно, незначний рівень металу в листках вказує на його більшу залученість у фізіологічних процесах кореневої системи лілійників. Як видно з таблиці 1, узагальнені розрахунки накопичення токсикантів у листках рослин у промислових умовах РЗФ-1 ВАТ «ПівнГЗК» свідчать, що найбільше серед усіх досліджених важких металів як за абсолютними, так і за відносними показниками акумулялювався ферум, різноманітні сполуки якого є пріоритетними забруднювачами гірничо-збагачувальних підприємств.

Таблиця 1. Середні значення вмісту деяких важких металів у листках видів *Нemerocallis L.* (мкг/г сирової речовини)

Table 1. The average values of the content of some heavy metals in the leaves of species *Nemerocallis L.* ($\mu\text{g/g}$ of raw material)

Етап дослідження	Криворізький ботанічний сад							РЗФ-1 ВАТ «ПівніЗК»				
	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Fe	Pb	Cd	Cu
<i>Nemerocallis middendorffii</i>												
Б ₁	8,7	1,2	86,2	4,1	2,4	2,2	17,7*	1,4*	1133,1*	6,9*	3,4*	3,5*
Ц ₁	9,9	1,0	110,1	3,6	2,6	2,6	31,0*	1,6*	1181,0*	7,4*	3,8*	4,0*
Пл ₂	10,8	2,9	115,9	6,3	3,0	4,0	38,7*	4,2*	1306,3*	12,8*	5,1*	6,8*
<i>Nemerocallis lilioasphodelus</i>												
Б ₁	6,9	1,2	57,8	3,7	2,4	2,1	15,4*	1,4*	1930,1*	5,5*	4,3*	2,3*
Ц ₁	9,1	1,3	168,2	3,9	3,2	2,3	17,1*	1,6*	1972,8*	6,1*	4,7*	2,8*
Пл ₂	11,8	2,7	175,0	4,3	4,5	3,4	23,6*	4,3*	2431,5*	7,3*	6,8*	4,3*

Примітки: Б₁ — фаза початку формування бутону; Ц₁ — фаза початку цвітіння; Пл₂ — фаза визрівання плодів; * — розбіжності достовірні відносно контролю за критерієм Стьюдента за $p < 0,05$

Так, у фази початку формування бутону, початку цвітіння та визрівання плодів максимальна його кількість серед видів лілійнику була характерною для *H. lilioasphodelus* і в 33, 12 та 14 разів відповідно перевищувала показники контрольних рослин, що добре узгоджується з даними інших дослідників [5].

Відомо, що швидкість поглинання цинку, який належить до класу високонебезпечних сполук [18], значно варіює залежно від виду та фази розвитку рослин і, ймовірно, максимально накопичується в асиміляційних органах рослин у середині та наприкінці вегетації. Рівень акумуляції цинку листками квітничково-декоративних видів за промислового забруднення виявився в понад п'ять разів меншим, порівняно з ферумом (табл. 1). Так, найінтенсивніше метал нагромаджувався у *H. middendorffii* як і в контрольних умовах, а його концентрація протягом усього морфогенезу перевищувала показники інтактних рослин у 2–3,6 рази.

Плюмбум вважається металом із низькою біологічною доступністю і переміщення його з коренів до надземної частини рослин досить обмежене [16], натомість цей елемент достатньо легко поглинається листками рослин у процесі надходження з повітря [31]. Як видно з таблиці 1, найсуттєвіші рівні накопичення плюмбуму (вдвічі вищі за контрольні) у зоні промислового забруднення протягом вегетації лілійників були характерними для *H. middendorffii*.

Купрум і кадмій активно акумулюються кореневою системою рослин і поступово надходять до надземних органів, проте під час поглинання елементів не менш важливими є і фоліарні шляхи їх надходження [18, 34]. В умовах проммайданчику РЗФ-1 ВАТ «ПівнГЗК» нагромадження зазначених металів у листках обох видів лілійнику у 1,5–1,7 раза було інтенсивнішим, ніж в умовному контролі, причому максимальна їх кількість фіксувалася наприкінці морфогенезу рослин. Цей факт, на нашу думку, зумовлений взаємодією між токсичними елементами за поліелементного забруднення, адже відомо, що високі концентрації феруму та цинку інгібують поглинання кадмію та купруму рослинами [3, 10]. Хоча стосовно взаємодії кадмій — цинк існують дані як про антагонізм, так і про синергізм у процесах акумуляції і транслокації [19].

Зазначимо, що в умовах забруднення нікелю в листках видів роду *Hemerocallis* містилося найменше серед досліджуваних токсикантів (табл. 1), а його рівні ледь перевищували контрольні показники на всіх етапах дослідження. Вочевидь, видоспецифічні бар'єрні механізми кореневої системи як *H. middendorffii*, так і *H. lilioasphodelus* ефективно

протидіють надмірному надходженню нікелю до тканин листка, не зважаючи на високий ступінь його рухливості в рослинах [21]. Хоча за певних умов характер токсичної дії нікелю може більшою мірою визначатися співвідношенням Ni/Fe, ніж його абсолютними концентраціями в тканинах рослин [20].

Відомо, що токсична дія більшості важких металів викликає розвиток оксидативного стресу та супроводжується різноманітними перебудовами метаболізму рослин, зумовленими як безпосереднім окисненням ліпідів мембран, так і накопиченням продуктів пероксидації (особливо вторинних) і їх взаємодією з клітинними макромолекулами [29]. Кількість саме сполук тіобарбітурової кислоти (ТБК-активних сполук) вважається важливим показником ступеня впливу різних факторів на організм, вивчення якого дозволяє певною мірою оцінити функціональний стан організму та його неспецифічну адаптаційну здатність [2].

Аналіз умісту ТБК-активних сполук в органах асиміляції лілійників у контрольних умовах свідчить, що на всіх етапах морфогенезу найбільш інтенсивно процеси пероксидації відбувалися у *H. middendorffii* (рис. 1А, 1Б), що певною мірою пояснюється видоспецифічністю розвитку вільнорадикальних реакцій, а також функціонуванням антиоксидантних систем захисту у згаданого виду рослин [32].

Необхідно зауважити, що ступінь розвитку пероксидного окиснення ліпідів у клітинах рослин за несприятливих чинників значною мірою визначається силою і тривалістю впливу, чутливістю рослин і стадією їх розвитку. Так, у чутливих до певного стресового чинника рослин спостерігається різка активація пероксидних процесів, а у стійких (толерантних) рослин — навпаки певне їх гальмування [10]. Розвиток стресового відгуку на дію важких металів у листках квітничково-декоративних рослин у зоні дії РЗФ-1 відбувався майже вдвічі інтенсивніше. Зауважимо, що, на відміну від контрольних рослин, у зазначених умовах серед видів роду *Hemerocallis* L. максимальний рівень ТБК-активних сполук встановлено у *H. lilioasphodelus*, який зростає в межах 1,4–2,0 раза від фази початку формування бутону до фази визрівання плодів (рис. 1Б). Схожу тенденцію перебігу вільнорадикальних реакцій за дії важких металів у цього виду було зафіксовано і в роботі Т. Ф. Чипиляк [7]. Частковим поясненням такого стресового відгуку саме у згаданого виду лілійнику може бути накопичення в його листках високих концентрацій кадмію та феруму, які належать до елементів, що сприяють самоприскоренню

розвитку процесів ПОЛ [28]. На відміну від цього, в асиміляційних органах *H. middendorffii* інтенсивність процесів пероксидації виявилась незначною і на всіх фазах розвитку рослин не перевищувала показник інтактних рослин більш ніж у 1,4 рази (рис. 1А). Імовірно, цей факт обумовлений видоспецифічними особливостями функціонування антиоксидантних ферментних систем.

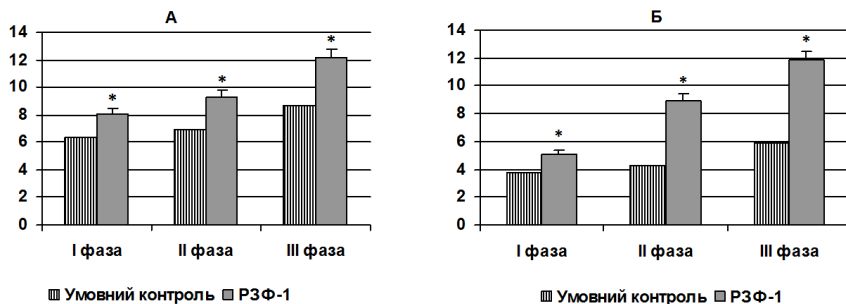


Рис. 1. Уміст ТБК-активних продуктів у листках видів *Hemerocallis* L. (10^{-6} М МДА/мг білка): А — *H. middendorffii*, Б — *H. lilioasphodelus*; I фаза — фаза початку формування бутону; II фаза — фаза початку цвітіння; III фаза — фаза визрівання плодів; * — розбіжності достовірні відносно контролю за критерієм Стьюдента за $p < 0,05$

Figure 1. The content of TBA-active products in the leaves of species *Hemerocallis* L. (10^{-6} M MDA/mg protein): A — *H. middendorffii*, B — *H. lilioasphodelus*; Phase I — the phase of bud formation; Phase II — the phase of beginning of flowering; Phase III — the phase of fruit ripening; * — discrepancies are significant with respect to control of the Student's criterion at $p < 0,05$

Висновки. Підсумовуючи, зазначимо, що, за узагальненою оцінкою акумуляції важких металів органами асиміляції квітничково-декоративних рослин у зоні дії гірничо-збагачувального підприємства, найвищий рівень більшості токсичних елементів був характерним для *H. middendorffii*. Високий рівень накопичення полотантів практично не впливав на загальний вигляд рослин виду й інтенсивність процесів

пероксидації у його листках, про що свідчить незначне зростання концентрації ТБК-активних сполук (до 1,4 раза) протягом усього періоду досліджень. На відміну від цього, *H. lilioasphodelus* виявився чутливішим до стресової дії промислових забруднювачів. Навіть незначний рівень цинку, нікелю, плюмбуму, купруму та кадмію в його листках, зумовлений антагоністичною дією феруму під час поглинання важких металів із доквілля, сприяв збільшенню інтенсивності вільнорадикальних процесів удвічі.

References

1. Anh Tran, T., & Popova, L.P. (2013). Functions and toxicity of cadmium in plants: recent advances and future prospects. *Turkish Journal of Botany*, 37, 1–13.
2. Batsmanova, L., Taran, N., Okanenko, A., & Kosyan, A. (2014). Oxidation stress is adaptative reaction inductor of winter wheat varieties. *Agriculture (Polnohospodarstvo)*, 60 (2), 70–76.
3. Bunluesin, S., Pokethitiyook, P., & Lanza, G. R. et al. (2007). Influences of cadmium and zinc interaction and humic acid on metal accumulation in *Ceratophyllum demersum*. *Water, Air and Soil Pollut.*, 180 (1–4), 225–235.
4. Buschhaus, Ch., & Jetter, R. (2011). Composition differences between epicuticular and intracuticular wax substructures: How do plants seal their epidermal surfaces? *Journal of Experimental Botany*, 62 (3), 841–853.
5. Chypylyak, T. (2014). Autekologichni osoblyvosti vydiv rodu *Hemerocallis* L. v umovakh m. Kryvyy Rih [Autecological features of species of the genus *Hemerocallis* L. in the conditions of the city of Kryvyi Rih]. *Visnyk of Lviv University. Ser.: Biological*, 65, 202–209. (in Ukrainian).
6. Chypylyak, T.F., & Hryshko, V.M. (2014). Prystosuvannya asymilyatsynoho aparatu sortiv lilynyku (*Hemerocallis* L.) do zabrudnennya vazhkymy metalamy [Adaptation of the assimilation apparatus of daylily varieties (*Hemerocallis* L.) to pollution by heavy metals]. *Biological Bulletin of the MDPU named after B. Khmelnytskyi*, 2, 83–97. (in Ukrainian).
7. Chypylyak, T.F., & Hryshko, V.M. (2014). Osoblyvosti fiziologichnoyi adaptatsiyi *Hemerocallis lilioasphodelus* i *H. middendorffii*

- (Hemerocallidaceae) do tekhnohennoho zabrudnennya [Peculiarities of physiological adaptation of *Hemerocallis lilioasphodelus* and *H. middendorffii* (Hemerocallidaceae) to technogenic pollution]. *Ukrainian Botanical Journal*, 71 (5), 614–619. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj71.05.614> (in Ukrainian).
8. Ekolohichnyy pasport Dnipropetrovs'koyi oblasti za 2021 rik [Environmental passport of the Dnipropetrovsk region for 2021] Dnipropetrovsk regional state administration. Electronic resource, online at <http://adm.dp.gov.ua> (in Ukrainian).
 9. Ekolohichnyy stan Kryvbasu: problemy ta shlyakhy yikh vyrishennya (24–25 zhovtnya 2019 roku): materialy vyzivnoho zasidannya Komitetu z pytan' ekolohichnoyi polityky ta pryrodokorystuvannya. (2019). [Ecological state of Kryvbas: problems and ways to solve them (October 24–25, 2019): materials of the field meeting of the Committee on Environmental Policy and Nature Management]. *Kryvyi Rih*, 69. (in Ukrainian).
 10. Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., & Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *Hindawi Publishing Corporation the Scientific World Journal*, Article ID 756120, 18. <https://doi.org/10.1155/2015/756120>
 11. Foyer, C. H., & Shigeoka, S. (2011). Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis. *Plant Physiol*, 155, 93–100.
 12. GOST 26657-85. Korma, kombikorma, kombikormovoye syr'ye. Metody opredeleniya sodержaniya fosfora (1987). [State Standard 26657-85. Feed, compound feed, compound feed raw materials. Methods for determining the content of phosphorus]. Moscow, 5. (in Russian).
 13. Greenberg, Ch. S., & Gaddock, Rh. R. (1982). Rapid single step membrane proteine assay. *Clin. Chem.*, 28 (7), 1726–1728.
 14. Gryshko, V. M., Syshchykov, D. V., Piskova, O. M., Danilchuk, O. V., & Mashtaler, N. V. (2012). Heavy metals: entering to soils, translocation in plant and ecological danger. Donbas, Donetsk, 304. (in Ukrainian).
 15. Hassanpour, E. S., & Rezayatmand, Z. (2015). Evaluation of some physiological and biochemical parameters of variety of sunflower Sanbero (*Helianthus annuus* L.) under nickel toxicity. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 5 (4), 88–99.

16. Hlukhov, O.Z., Safonov, A.I., & Khyzhnyak, N.A. (2006). Fitoindykatsiya metalopersynhu v antropohenno transformovanomu seredovyshchi [Phytoindication of metal persing in an anthropogenically transformed environment], Nord-Press, Donetsk, 360. (in Ukrainian).
17. Jan, A.U., Ahmad, A., Hadi, F., & Ali, N. (2017). Phytoextraction and Translocation of Cadmium in Saline Soil by *Hemerocallis fulva* and *Dodonaea viscosa* plants. *Res. Rev. Biosci.*, 12 (2), 124.
18. Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soil and plants. 4th ed. : CRS Press, Boca Raton, 520.
19. Kandziora-Ciupa, M., Ciepał, R., Nadgorska-Socha, A., & Barczyk, G. (2013). A comparative study of heavy metal accumulation and antioxidant responses in *Vaccinium myrtillus* L. leaves in polluted and non-polluted areas. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 20, 4920–4932.
20. Khalid, B. Y., & Tinsley, J. (1980). Some effects of nickel toxicity on ryegrass. *Plant and Soil*, 55, 139–143.
21. Khan, M. R., & Khan, M. M. (2010). Effect of varying concentration of Nickel and Cobalt on the plant growth and yield of Chickpea. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4 (6), 1036–1046.
22. Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produktsii rasteniyevodstva (1989). [Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production]. Moscow, 62. (in Russian).
23. Musiyenko, M. M., Parshykova, T. V., & Slavnyy, P. S. (2001). Spektrofotometrychni metody v praktytsi fiziolohiyi, biokhimiyi ta ekolohiyi roslyn [Spectrophotometric methods in the practice of physiology, biochemistry and ecology of plants]. Phytosocial Center, Kyiv, 200. (in Ukrainian).
24. Natsional'na dopovid' pro stan navkolynshn'oho pryrodnoho seredovyshcha v Ukrayini u 2010 rotsi. (2011). [National report on the state of the natural environment in Ukraine in 2010]. Center for Environmental Education and Information, Kyiv, 254. (in Ukrainian).
25. Okeke, C. U., Iroka, Ch. F., & Izundu, A. I. et al. (2015). Comparative systematic leaf and petiole anatomical studies of the genus *Stachytarpheta* found in Awka Nigeria. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 3 (4), 82–84.
26. Piskova, O., & Gryshko, V. (2010). Intensity of free radical processes in the leaves of arboreal plants under act of industrial

- dust borne extracts. *Acta Agraria Debreceniensis*, 38, 83–87. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/38/2764>
27. Poonkothai, M., & Vijayavathi, B.S. (2012). Nickel as an essential element and a toxicant. *International Journal of Environmental Sciences*, 1 (4), 285–288.
 28. Sebastiani, L., Francini, A., & Romeo, S. et al. (2014). Heavy metals stress on Poplar: Molecular and anatomical modifications. *Approaches to plant stress and their management publisher*. Eds. R. K. Gaur, P. Sharma. Springer India, 267–279. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1620-9_15
 29. Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., & Pessarakli, M. (2012). Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany (Hindawi Publishing Corporation)*, 1, 1–26.
 30. Shutzendubel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stress: heavy metal – induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *J. Experim. Bot.* 53 (372), 1351–1365.
 31. Skopets'ka, O. V., Kosyk, O. I., & Musiyenko, M. M. (2004). Kompleksnyy ekoloho-fiziolohichnyy analiz mihratsiyi ta nahromadzhennya svyntsyu v ahroekosystemakh [Complex ecological and physiological analysis of lead migration and accumulation in agroecosystems]. *Physiology and biochemistry of cultivated plants*, 36 (1), 27–35. (in Ukrainian).
 32. Song, X., Zhang, C., Chen, W., Zhu, Y., & Wang, Y. (2020). Growth responses and physiological and biochemical changes in five ornamental plants grown in urban lead-contaminated soils. *Plant-Environment Interactions*, 1 (1), 29–47. <https://doi.org/10.1002/pei3.10013>
 33. Sytar, O., Kumar, A., & Latowski, D. et al. (2013). Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35 (4), 985–999.
 34. Verbruggen, N., Hermans, C., & Schatz, H. (2009). Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist*, 181, 759–776.
 35. Yehorshyn, O. O., & Lisovyy, M. V. (2005). Matematychny planuvannya pol'ovykh doslidiv ta statystychna obrobka eksperymental'nykh danykh [Mathematical planning of field experiments and statistical processing of experimental data]. Kharkiv, 193. (in Ukrainian).

36. Zubrovs'ka, O. M. (2018). Lipidy ta vtorynni metabolity kutykuly u adaptatsiynykh reaktsiyakh derevnykh roslyn za diyi vazhkykh metaliv [Lipids and secondary metabolites of the cuticle in adaptation reactions of woody plants under the influence of heavy metals] : *avtoref. dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.12. Kyiv, 22. (In Ukrainian).

THE INFLUENCE OF MINING PROCESSING ENTERPRISE POLLUTANTS TO THE DEVELOPMENT OF OXIDATIVE STRESS AND THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS INTO FLOWERING AND DECORATIVE PLANTS LEAVES

O. M. Zubrovska

Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The paper presents the results of heavy metals accumulation analysis and the development of oxidative stress processes in the two species of the genus *Hemerocallis* leaves, which grew near a mining processing enterprise. In the industrial pollution conditions, the species-specific nature of the heavy metals accumulation by the assimilation organs of ornamental plants has been established. It has been proven that *H. middendorffii* concentrated most of the toxic elements in its leaves during the growing season. At the same time, the high concentration of pollutants practically did not affect the general appearance of this species plants. The different intensity of heavy metal ions accumulation by the leaves of daylilies caused a certain degree of growth of free radical reactions-responses to stressors. For both studied species, a uniform and statistically significant increase in lipid peroxidation processes was established from the bud formation phase to the fruit ripening phase, as indicated by the content of TBC-active compounds in plant leaves.

Thus, in *H. middendorffii*, despite the active absorption of most toxic elements, the development of oxidative stress was at a certain stationary level, and the amount of TBC-active compounds during the entire period of research exceeded the control indicators by only 1.2–1.4 times. In contrast, *H. lilioasphodelus* was more sensitive to the stressful effect of industrial pollutants.

Even an insignificant level of zinc, nickel, lead, copper and cadmium against the background of a high iron content in the leaves of the species helped to increase the intensity of formation of free radical processes twice. We can recommend using of *H. middendorffii*, which has a high resistance to the negative effects of industrial pollutants containing heavy metals, as a promising species both for greening the industrial territories of the mining processing enterprises and in phytoremediation techniques in urban territories.

Key words: heavy metals, *Hemerocallis* L., lipid peroxide oxidation, TBC-active compounds.

Citation as:

APA Zubrovska, O.M. (2022). Vplyv zabrudniuvachiv hirnycho-zbahachuvalnoho pidpryemstva na rozvytok oksydatyvnoho stresu ta nahromadzhennia vazhkykh metaliv u lystkakh kvitnykovo-dekoratyvnykh roslyn [The influence of pollutants of a mining and concentration factory on the development of oxidative stress and the accumulation of heavy metals in the leaves of ornamental plants]. *Ekologichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 7, 60–73. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v7i0>.

ДСТУ 8302:2015 Зубровська О. М. Вплив забруднювачів гірничо-збагачувального підприємства на розвиток оксидативного стресу та нагромадження важких металів у листках квітничково-декоративних рослин. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 60–73.

РЕІНТРОДУКЦІЯ ОХОРОНЮВАНИХ ВИДІВ *ADONIS VERNALIS* L., *TULIPA SCHRENKII* REGEL У ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ КОРИСНИХ КОПАЛИН ЖОВТОКАМ'ЯНСЬКОГО РОДОВИЩА

Е. О. Євтушенко^{1*}, І. О. Комарова¹, Є. В. Поздній¹,
Ю. А. Головчук²

¹ — Криворізький державний педагогічний університет,
м. Кривий Ріг, Україна

² — ПрАТ «Кривий Ріг Цемент», м. Кривий Ріг, Україна

Анотація. Розробка корисних копалин у межах техногенно навантажених регіонів призводить до зменшення площ і, відповідно, місць оселення дикорослих видів, серед яких особлива увага повинна бути приділена видам, що зменшують популяції та потребують збереження чисельності — охоронюваним видам. Вирішення проблеми їх збереження здійснюється шляхом компенсування підприємством державі впливу на рослини, пов'язаного з видобутком корисних копалин на території їхнього оселення. Такий спосіб не сприяє збереженню видів і фіторізноманіттю загалом. Перспективним напрямом є реінтродукція (переселення) видів із природних місцезростань у локуси, розташовані у відпрацьованих частинах кар'єрів, промислових майданчиків тощо. Здійснена, згідно із загальновідомими підходами, реінтродукція видів *Adonis vernalis* L., *Tulipa schrenkii* Regel із природних оселиць у балці Північна, яка розташована в зоні розширення гірничо-видобувного підприємства у відпрацьовану частину Жовтокам'янського кар'єра (Апостолівський район Дніпропетровської області). Реінтродукція відбувалася в листопаді 2020 року, а в березні 2021 популяції *Adonis vernalis* L. перебували в генеративній фазі, а *Tulipa schrenkii* Regel — у віргінільній. Подальші дослідження не виявили початок процесу цвітіння в Тюльпана Шренка. Оцінка ефективності реінтродукції даних охоронюваних видів є попередньою. Показано можливість і необхідність здійснення заходів зі збереження фіторізноманіття в умовах розробки корисних копалин без перенесення рослин у межі території природно-заповідного фонду. Реінтродукція рослин стає все частіше використовуваною стратегією збереження рослин, потребує вдосконалення сучасних методів, картування придатності середовища існування для видів рослин, що знаходяться під загрозою.

Наголошено на важливості реінтродукції як елемента природоохоронної парадигми промислової ботаніки.

Ключові слова: реінтродукція, охоронювані види, фіторізноманіття, Жовтокам'янський кар'єр.

Вступ. Скорочення чисельності рідкісних видів рослин, що охороняються, є значною проблемою в умовах інтенсивного антропогенного тиску в промислових регіонах.

Вирішення цієї проблеми здійснюється шляхом компенсування підприємством державі впливу на рослини, пов'язаного з видобутком корисних копалин на території їхнього оселення [4]. Але реалізація компенсаційного механізму неминуче призведе до втрати рослинних видів і зменшення біорізноманіття. Тому застосування активних методів, що дозволяють відновити природну чисельність видів, які представлені малочисельними популяціями та знаходяться під охороною, є важливим аспектом збереження біорізноманіття в умовах видобутку корисних копалин і свідченням екологічної та соціальної відповідальності підприємства, що здійснює такий вид діяльності.

Одним з активних заходів збереження рідкісних і зникаючих видів рослин є реінтродукція. Реінтродукція може бути різною за напрямом, реалізовуватися різними шляхами та складатися з таких послідовних етапів: вивчення природних популяцій і біологічних особливостей виду в умовах інтродукції, а також формування штучних популяцій в природних умовах [2, 5].

Реінтродукція як один з аспектів збереження фіторізноманіття є необхідною складовою виконання Міжнародної конвенції збереження біорізноманітності, прийнятої в Ріо-де-Жанейро в 1992 році, і «Стратегії ботанічних садів щодо охорони рослин» (1994). Особливо гостро необхідність реінтродукції видів рослин постає в промислово розвинених регіонах. У тих випадках, коли антропогенний вплив призводить до прогнозованого зникнення зі складу рослинних угруповань окремих видів, виникає необхідність їх реінтродукції.

Матеріали та методи. Дослідження проводили в межах території Жовтокам'янського кар'єра (Апостолівський район Дніпропетровської області) (рис. 1). Жовтокам'янське родовище цементної сировини розташоване на схилі південно-східної частини Придніпровської височини. У геологічній будові Жовтокам'янського родовища вапняків і глин беруть участь сучасні (голоценові), плейстоценові та неогенові відклади, а також продукти кори вивітрювання докембрійських кристалічних порід.

Рельєф району прорізаний річковими долинами та численною балочною мережею, що прилягає до русел річок. Поверхня району горбиста і відтворює риси кристалічного фундаменту. Абсолютні позначки денної поверхні району родовища змінюються від 101,8 м на вододілі — до 36 м у долині р. Жовтенька.

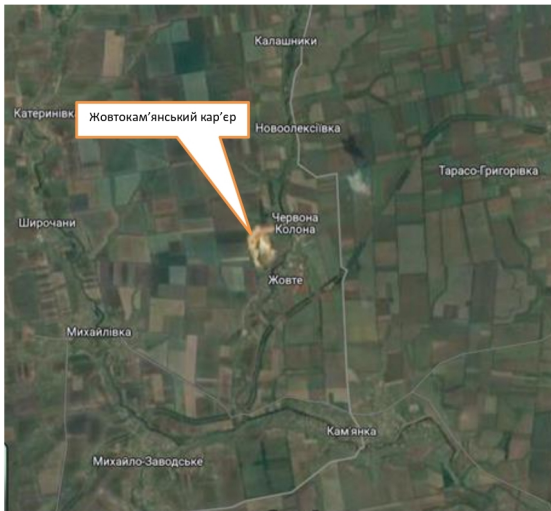


Рис. 1. Розташування Жовтокам'янського кар'єра

Figure 1. Location of the Zhovtokamiansky deposit

Найближчою до родовища є р. Жовтенка. Річка Жовтенка — ліва притока р. Кам'янка, бере початок за 20 км на північ від родовища. Загальна довжина її до впадання в р. Кам'янку — близько 35 км. Ширина її долини не перевищує 0,5 км, біля ділянки №3 родовища вона дорівнює 100–150 м. Рівень води в річці цілком пов'язаний із кількістю атмосферних опадів і поверхневого стоку. Вона не має постійного водотоку, у літній період пересихає. Долина річки вузька, із симетричними пологими схилами, перерізними дрібними ярами, більш розвиненими на лівому схилі. Численні балки та яри мають водотоки тільки в періоди сніготанення та сильних дощів.

Безпосередньо на родовищі розташовані три балки: Північна, Центральна та Південна. Північна та Південна балки мають розвантаження поверхневих вод у р. Жовтенку. Притік дощових і талих вод у кар'єр здійснюється переважно зі сторони балки Центральної. Ширина балки біля бровки кар'єра досягає 1 км. Далі на захід у сторону вододілу її ширина поступово зменшується, довжина балки сягає 1800 м. Її уклін направлений у сторону кар'єра і в середньому становить 0,02–0,027. Схили балки пологі, симетричні, з ухилом 0,03. Її глибина біля бровки кар'єра сягає 12 м, а водозбірна площа становить 1 км².

Клімат району помірно-континентальний, характерний для степової зони півдня України — зі спекотним літом і досить теплою малосніжною зимою. Температура повітря: мінімальна — -34°C (січень — лютий), максимальна — $+40^{\circ}\text{C}$ (липень), середньорічна — $+8,5^{\circ}\text{C}$. Максимальна глибина промерзання ґрунту — 1 м. Середня висота снігового покриву не перевищує 9 см. Узимку часті відлиги. Середньорічна кількість атмосферних опадів — 493 мм. Добові опади злив — 59 мм. Вітри в зимовий період переважно північно-східні та північно-західні, улітку — різних напрямків. Середня швидкість вітру — 2,5–4,9 м/сек.

Ґрунти мають таку будову:

1. Ґрунтово-рослинний шар — гумусований темно-бурий, темно-сірий до чорного суглинок. Розповсюджений за межами кар'єра. Його потужність незначна — 0,1–1,0 м, у середньому вздовж площі родовища складає 0,46 м.
2. Суглинки — лесовидні. Вони являють собою породу зверху бурувато-жовтого, жовто-сірого, палево-жовтого, світло-коричневого, униз за розрізом — від жовтувато-бурого до темно-коричневого (похований ґрунт потужністю 0,4–1,0 м) кольору, унизу лесової товщі прошарки палево-жовтого, бурувато-палевого суглинка, який місцями переходить у червоно-бурі суглинки з вапнистими стягненнями, дрібними друзами гіпсу, із прошарками потужністю 5–10 см бурої пластичної глини. Пластичність суглинок — 7,2–12,6, масова частка частинок розміром менше 10 мкм — 32,35 (75%), крупнозернисті включення (більше 0,5 мм) — 0,88%.

Мінералогічний склад суглинка представлений переважно кварцом. У незначній кількості присутні гідрослюда, кальцит, каолінит, рідко — монтморилоніт.

На площі Жовтокам'янського родовища потужність суглинка коливається в межах 14–15,0 м, у середньому становлячи 4,5 м. Переважне значення — 6–10 м. Збільшення потужності суглинка спостерігається зі сходу на захід, тобто у сторону вододілу. Покрівля шару характеризується абсолютними позначками 58,25–79,20 м, підвищення яких зафіксоване в західному напрямку.

Ґрунтово-рослинний шар і суглинки є розкривними породами та використовуються тільки для рекультивації відпрацьованих ділянок кар'єра. Загальна потужність цих відкладів коливається в межах від 0 на площі кар'єра до 15,2 м за його межами, при середній за межами кар'єра 5,0 м.

Територія неробочої частини Жовтокам'янського кар'єра (рис. 2) складається з таких геоморфологічних елементів: днище кар'єра, берми, укоси, технологічний розріз виробничих гірських порід.



Рис. 2. Розташування природних і штучних популяційних локусів із реінтродукції охоронюваних видів рослин

Figure 2. Location of natural and artificial population loci for the reintroduction of protected plant species

Днище кар'єра характеризується максимально сприятливими умовами для росту та розвитку трав'яного покриву. Характерний для регіону дефіцит вологи в межах цієї ділянки відсутній. Причина — знижена форма рельєфу, яка акумулює атмосферні води. Окрім того, сприятливо на рослини впливають ґрунтові води, які залягають відносно близько до поверхні днища кар'єра.

Перша берма складена скельними породами вапняку. На момент зупинки видобутку в цій частині кар'єра активно велися відповідні гірничо-технічні роботи. Тому були видалені з поверхні першої берми пухкі гірські породи. У деяких місцях зустрічаються вибухові свердловини. Як результат рослинний покрив в цій частині кар'єра фрагментарний.

Друга берма базується на пухких осадових породах. Цей факт сприятливо впливає на ріст і розвиток рослинного покриву, що сформувався на 75–85% площі цієї берми.

Третя берма мінімальна за площею та максимально знаходиться в «тіні» зовнішнього контуру кар'єра. Екологічні умови цієї території аналогічні попередній.

Технологічний розріз гірських порід розкриває та демонструє всю товщу корисної гірської маси. Вона представлена вапняками, які активно руйнуються під дією процесів вивітрювання.

Свіжа відсипка охоплює днище кар'єра з південно-східної, східної та північно-східної частин. Вона складається з пухких порід, які доставляються з робочої частини кар'єра [1].

Кар'єр межує з територіями, що перебувають у сільськогосподарському використанні, тому основним лімітуючим фактором, як для нього, так і для прилеглих територій, є антропогенний. Розширення кар'єра задля видобутку сировини здійснюється в північно-східному напрямку, під плановану розробку потрапляє балка Північна, розташована між перелогом, що прилягає до кар'єра, і сільськогосподарським полем (рис. 2).



Рис. 3. Популяція Горицвіту весняного (*Adonis vernalis* L.) на схилі балки Північна

Figure 3. A population of spring mountaineer (*Adonis vernalis* L.) on the slope of the Severnaya Balka

У балці Північній із не порушеним рослинним покривом у березні 2020 року виявлені ранньовесняні рослини: Горицвіт весняний

(*Adonis vernalis* L.) — родина Жовтецеві (*Ranunculaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області, категорія «вразливі», Червона книга України, категорія «неоцінений» (рис. 3); Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) — родина Лілійні (*Liliaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області, категорія «рідкісні», Червона книга України, категорія «вразливі» (рис. 4); Гиацинтик блідий (*Hyacinthella leucophaea* (K. Koch) Schur) — родина Холодкові (*Asparagaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області, категорія «рідкісні»; Зірочки жовті (*Gagea lutea* L. Ker Gawl.) — родина Лілійні (*Liliaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області, категорія «рідкісні»; Півники карликові (*Iris pumila* L.) — родина Півникові (*Iridaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області, категорія «рідкісні» [7, с. 6–43]. Популяції цих рослин чисельні та перебувають у гарному стані на всій території балки, як правило, на схилі західної експозиції.



Рис. 4. Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) і Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel)

Figure 4. *Adonis vernalis* L. and *Tulipa schrenkii* Regel

Мета дослідження — встановити можливості збереження видів Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) і Тюльпан Шренка

(*Tulipa schrenkii* Regel) шляхом перенесення рослин із природного місцезростання (балка Північна) у відповідні, за екологічними характеристиками, локуси відпрацьованої частини Жовтокам'янського кар'єра. Досягнення поставленої мети визначалося виконанням наступних завдань:

1. Встановлення біологічних властивостей, популяційних характеристик, екологічних вимог видів.
2. Визначення місць оселення видів у природному середовищі, чисельності рослин.
3. Встановлення на території відпрацьованої частини кар'єра місця розташування біотопів з екологічними характеристиками, подібними до природних (балка Північна).
4. Пересадження рослин.
5. Спостереження за пересадженими рослинами, визначення успішності реінтродукції.

Задля успішності збереження реінтродукованих популяцій штучні популяційні локуси були закладені в гарантованій зоні охорони антропогенно зміненої території (територія відпрацьованої частини кар'єра).

Результати. Біологічні та созоологічні характеристики реінтродукованих видів. Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) — родина Жовтецеві (*Ranunculaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області, категорія «вразливі», природоохоронний статус виду: Червона книга України, категорія «неоцінений». За біолого-екологічними характеристиками, Горицвіт весняний — багаторічний, коротко кореневищний, вегетативно малорухливий, гемікриптофіт, мегатроф, мезоксерофіт, геліофіт, ентомофіл, баліст (мірмекохор), степант. Популяції континуальні, однак інтенсивний вплив антропогенних факторів призвів до їх інсуляризації та трансформації в локальні. В умовах Південного Лісостепу та Північного Степу мають найвищу щільність (8–25 особин на 1 м²) і повночленні правосторонні спектри, у Криму їх щільність нижча. Поблизу північної та південної меж поширення вони мають низьку щільність (0,01–4 особини на 1 м²).

Причинами зміни чисельності, незважаючи на поширеність, є розорювання, перевипас, терасування та заліснення схилів, великі об'єми заготівлі, збирання на букети.

Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) належить до родини Лілійні (*Liliaceae*) — Червоний список Дніпропетровської області,

категорія «рідкісні», природоохоронний статус виду: Червона книга України, категорія «вразливий».

Тюльпан Шренка — це багаторічний, ефемероїд, цибулинний, пучкокорневищний, вегетативно нерухливий, геофіт, мегатроф, мезоксерофіт, геліофіт, ентомофіл, баліст, петрант-степант.

Росте у степах, на вапнякових і крейдяних відслоненнях, солонцях у Донецькому Лісостепу, Степу і в Криму. Рослина отруйна, дуже красива. Останнім часом інтенсивно знищується, тому потребує посиленої охорони. Тюльпани — цінні декоративні рослини для весняного оздоблення квітників.

Локальні популяції налічують десятки, зрідка сотні особин. Причинами зміни чисельності є розорювання степів, степових схилів і балок, надмірні пасовищні навантаження, масове зривання на букети, викопування цибулин [7, с. 6–43].

Реінтродукція Горицвіту весняного (*Adonis vernalis* L.) і Тюльпана Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) здійснювалася в листопаді 2020 року. Відбір рослин виконували з місцезростань балки Північна, що знаходиться на відстані від 250 до 350 м від працюючої частини кар'єра та 1 км від відпрацьованої.

Під час провадження заходів із реалізації завдань реінтродукції визначили розміщення ділянок для посадки. У межах цих ділянок здійснили прибирання від деревного сухостою, опадку листя, сухої трави, готували посадкові ями [2, 5].

Викопування рослин із грудкою ґрунту та пересаджування в нові локуси здійснили восени, під час настання зимового спокою рослин. Усього викопали 200 рослин Горицвіту весняного (*Adonis vernalis* L.) і 90 рослин Тюльпана Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) із грудкою землі об'ємом 20 × 20 × 20 см зі схилів балки Північної, 40 рослин Горицвіту весняного (*Adonis vernalis* L.) з тальвегу балки та 50 рослин цього ж виду з тальвегу балки поблизу дамби (табл. 1).

У процесі транспортування рослин із грудкою ґрунту до місця посадки всі вони були спакзовані в поліетиленові пакети для зменшення висушування кореневої системи й утримання ґрунту, покладені в транспортний засіб і перевезені до відпрацьованої частини кар'єра.

Посадка рослин із грудкою ґрунту в підготовлені посадкові ями здійснювалася вручну, із використанням садового інвентарю та води в ємностях, куртинами з кількістю рослин від 20 до 40. Рослини з грудкою землі опускали в посадкові ями, заливали 3–5 л води, ущільнювали ґрунтом, мульчували. Усього пересаджено більше 300 екземплярів

рослин Горищвіту весняного (*Adonis vernalis* L.) і Тюльпана Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel).

Таблиця 1. Розташування рослин у природних місцезростаннях балки Північна
Table 1. Rotation of plants in natural habitats of the Severnaya Balka

Координати	Елемент рель'єфа	Вид, кількість особин
33° 49' 42" 47° 48' 15"	Балка схили	Горищвіт весняний, 200 рослин Тюльпан Шренка, 90 рослин
33° 49' 58" 47° 48' 20"	Тальвег балки	Горищвіт весняний, 40 рослин
33° 50' 00" 47° 48' 23"	Тальвег балки біля дамби	Горищвіт весняний, 50 рослин

Нами визначено, що максимально сприятливими для зростання та розвитку рослинного покриву є екологічні умови на першій і другій бермах.

Висадження видів здійснювали на ділянках із відповідними екологічними умовами, подібними до схилу та днища балки Північна (рис. 5).

1. Ділянка №1 розташована на 1 бермі, під бортом берми 2 в найбільш зволоженому місці. Шар осадкових порід потужністю 15 см. Свіжий тип зволоження. Оточуюча рослинність: Маслинка вузьколиста і шишчина.
2. Ділянка №2 розташована на 1 бермі, перед спуском до дна кар'єра поблизу насадження робінії псевдоакації 10–15 річного віку. Шар осадкових порід потужністю 20 см. Сухуватий тип зволоження. Оточуюча рослинність: робінія псевдоакація та шишчина.
3. Ділянка №3 розташована на 2 бермі під бортом берми 2, у найбільш зволоженому місці, у заглибині якого в березні було надмірне зволоження. Шар осадкових порід потужністю 15 см. Свіжуватий тип зволоження. Оточуюча рослинність: Маслинка вузьколиста, Ясен зелений і шишчина (33° 49' 37" сх. д., 47° 47' 26" пн. ш.).
4. Ділянка №4 розташована на 2 бермі, край схилу на 1 берму. Шар осадкових порід потужністю 30 см. Свіжуватий тип зволоження.

Оточуюча рослинність: Робінія псевдоакація та шипшина (33°49'32" сх. д., 47°47'36" пн. ш.).



Рис. 5. Розташування локусів реінтродукції в межах відпрацьованої частини кар'єра

Figure 5. Location of reintroduction loci within the mined-out part of the quarry

У межах ділянок були створені локуси інтродукції з таким розташуванням:

1. 47°47'23"480 пн. ш. 33°49'54"606 сх. д.
2. 47°47'19"084 пн. ш. 33°49'54"670 сх. д.
3. 47°47'19"592 пн. ш. 33°49'48"446 сх. д.
4. 47°47'18"950 пн. ш. 33°49'45"442 сх. д.
5. 47°47'19"990 пн. ш. 33°49'40"800 сх. д.
6. 47°47'23"460 пн. ш. 33°49'36"670 сх. д.
7. 47°47'27"323 пн. ш. 33°49'35"068 сх. д.
8. 47°47'35"650 пн. ш. 33°49'32"190 сх. д.

Моніторинг приживання рослин та успішності реінтродукції здійснювався в наступних вегетаційних сезонах за візуальними спостереженнями.

Обговорення. За результатами спостережень у березні 2021 року зафіксовано гарний, квітучий стан лише деяких рослин, пересаджених із балки Північної в реінтродукційні локуси відпрацьованої частини кар'єра в листопаді 2020 року.

Локус 3. Координати 47°47'19''592 пн. ш., 33°49'48''446 сх. д. Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) — квітнучий стан — 2 квітки (рис. 6). Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) — стан вегетації (рис. 7).



Рис. 6. Горицвіт весняний

Figure 6. *Adonis vernalis*



Рис. 7. Тюльпан Шренка

Figure 7. *Tulipa schrenkii*

Локус 2. Координати 47°47'19''084 пн. ш. 33°49'54''670 сх. д. Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) — квітнучий стан — 2 квітки. Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) — стан вегетації.

Локус 4. Координати 47°47'20''14 пн. ш. 33°49'43''53 сх. д. Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) — квітнучий стан — 5 квіток, стан

бутонізації — 9 бутонів, Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) — стан вегетації.

Локус 5. 47°47'19"990 пн. ш. 33°49'40"800 сх. д. Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) — квітнучий стан — 4 квітки, стан бутонації — 2 бутонів. Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) — стан вегетації.

У межах інших локусів рослини знаходилися у стадії вегетації.

Отже, лише Горицвіт весняний (*Adonis vernalis* L.) проходить повний життєвий цикл (від латентної фази до генеративної та сенільної) після реінтродукції з балки Північної у відпрацьовану частину кар'єра. Тюльпан Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel) зафіксовано лише у стадії вегетації. На жаль, подальші спостереження, заплановані на березень 2022 року, були перервані умовами військового стану внаслідок воєнної агресії росії, тому здійснити оцінку ефективності реінтродукції можна лише прогнозно.

Слід зауважити, що праця, присвячених оцінці ефективності реінтродукції в Україні, загалом дуже мало. Лише в кількох публікаціях повідомлялося про результати реінтродукції певних видів рослин [6]. Водночас її ефективність була об'єктом дослідження великої групи зарубіжних авторів, які продемонстрували, що показники виживання, цвітіння та плодоношення реінтродукованих рослин загалом досить низькі (у середньому 52%, 19% та 16% відповідно), а показники успішності окремих експериментів із часом зменшуються до 6% [9].

Так, за М. Maunder (1992 рік), реінтродукція рослин стає все частіше використовуваною стратегією їх збереження й управління природоохоронними територіями, оскільки дозволяє внаслідок навмисного поселення особин виду в територію та / або середовище існування, де він був винищений, створювати життєздатну самопідтримувану популяцію з метою її збереження. Реінтродукція рослин може передбачати відновлення винищеного виду у відносно незайманому середовищі існування або це може бути частиною відновлення деградованого середовища існування, що досліджувалося і нами в межах Жовтокам'яньського кар'єра. Автор також підтверджує, що, незважаючи на важливу роль реінтродукції рослин у збереженні видів, довгострокову життєздатність багатьох реінтродукцій ще належить оцінити. Окремою проблемою є також переселення зникаючих видів, які не мають нових придатних для них місць [11].

Тому виявлення оселищ для збереження та реінтродукції видів рослин, що знаходяться під загрозою зникнення, потребує застосування відповідних методів і методик, які автори вбачають в залученні двоетапного моделювання та польового підходу [12].

Зазначимо важливість картування придатності середовища існування для видів рослин, що знаходяться під загрозою, і його наслідків для відновлення та реінтродукції не тільки в межах Дніпропетровської області й України загалом, але й за кордоном. Так, Erin J. Questad та інші дослідники (2014) підтвердили, що мікрокліматичні умови на ділянках і з високою придатністю до реінтродукції демонструють кращу якість середовища існування порівняно з ділянками з низькою придатністю. Характеристики реакції рослин вказують на кращі умови вирощування на ділянках із високою придатністю — висота рослин і вміст поживних речовин у листі є вищими в районах із високою придатністю, а виживання висаджених особин було менш мінливим серед ділянок високої придатності [10].

Теорія та практика реінтродукції є підґрунтям охорони й оптимізації рослинного покриву та нерозривно пов'язані з основними контурами теорії охорони генофонду дикої флори, окресленими В.І. Шандою (2013), що є системним елементом природоохоронної парадигми промислової ботаніки [8]. Збереження генофонду дикої флори, який формується популяційним і видовим складом царств органічного світу, видовою різноманітністю, представлений складом цінних, рідкісних чи зникаючих видів, потребує охорони як зараз, так і в майбутньому. Генофонд як сукупність, набір, пул генів певної популяції повинен бути збереженим разом з організмами й ареалами-осередками, у яких популяції існують у природі.

Значні порушення стану природного середовища внаслідок локальних та регіональних, техногенних і посттехногенних проявів антропогенезу актуалізують термінові заходи щодо захисту генофонду, у якому дикій флорі належить провідне місце. Знищення природної рослинності, її розчленування, синантропізація призводять до втрати цінних генів. Відносну просторово-часову стійкість рослин дикої флори забезпечує збереження генотипів із певними комбінаціями генів, в умовах спонтанного добору в антропо змінених рослинних угрупованнях.

Збіднення генофонду означає зменшення інформативності системи національної флори. Заходи щодо збереження генофонду дикої флори України повинні включати диференційоване підсилення охорони найменш антропоотолерантних і гетерогенних популяцій, створення резерватів, штучне розмноження рідкісних видів. Охорона генофонду дикої флори як об'єктивного підґрунтя збереження антропо змінених і трансформованих біогеоценозів Криворіжжя повинна враховувати

теорію та практику, можливості реінтродукції охоронюваних видів рослин [3, 8].

Сформульована В.І. Шандюю (2013) адаптивна стратегія антропогенної діяльності націлена на усунення порушень у ландшафті під час природокористування на основі принципів, адаптіогенезу, системності й еволюціонізму, пов'язана з теоріями екологічної ніші, антропотолерантності, може бути доповнена теоретичними та практичними аспектами реінтродукції охоронюваних видів [8].

Теоретичні узагальнення напрямів охорони й оптимізації антропо трансформованих рослинних угруповань підтверджуються результатами практичних досліджень, здійснених у межах степової зони.

Серед напрямів наукових пошуків з упровадження в практику охорони й оптимізації антропо трансформованих біогеоценозів доцільно виділити такі:

1. Сануюча, декоративна й озеленювальна роль деревних рослин в культурфітоценозах.
2. Діагностична роль рослин і їх угруповань в оцінці ступеня трансформації біогеоценозів.
3. Критеріальність ефективності оптимізації антропогенно трансформованих біогеоценозів.
4. Охорона певних рослинних угруповань [3].

Реінтродукція охоронюваних видів у відпрацьовану частину антропоного ландшафту, здійснена у Жовтокам'янському кар'єрі, є досвідом використання прогнозно ефективного методу збереження генофонду дикої природи в умовах значної антропогенної трансформації степової зони України. Високий рівень сільсько-господарського освоєння та промислового використання підприємствами гірничо-видобувної галузі території Степу, подальше збільшення площі під відвалами, кар'єрами, промплощадками та відповідне зменшення під природними біотопами й дикорослою рослинністю матиме наслідком збіднення біорізноманіття. За таких умов застосування в ролі реінтродукційних локусів територій підприємств різних галузей, які не використовуються, або були у промисловому використанні, відповідних за екологічними характеристиками біологічним властивостям охоронюваних видів, може бути важливою практикою збереження генофонду дикої природи та біорізноманіття загалом.

Висновки. В охороні й оптимізації рослинності Криворіжжя важливим є звернення до проблеми охорони генофонду дикої природи як необхідної умови відтворення фітобіоти степових ландшафтів, порушених і трансформованих діяльністю людини в межах техногенно навантажених територій.

Окреслені стратегії охорони природи актуалізують необхідність розробки концепції керування техногенним середовищем.

Теоретичні положення адаптивної стратегії оптимізації степового ландшафту частково реалізовані в дослідженнях сануючої, декоративної, озеленувальної ролі деревних рослин у культурфітоценозах, діагностичної ролі рослин і їхніх угруповань в оцінці ступеня трансформації біогеоценозів, критеріальності ефективності оптимізації антропогенно трансформованих біогеоценозів і необхідності охорони певних рослинних угруповань та можуть бути доповнені теоретичними й практичними аспектами реінтродукції охоронюваних видів рослин.

Здійснена реінтродукція рослин Горицвіту весняного (*Adonis vernalis* L.) і Тюльпана Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel), що належать до Червоної книги України, із територій планованого розширення видобутку корисних копалин Жовтокам'янського кар'єра в біотопі його непрацюючої частини є важливим аспектом збереження біорізноманіття антропогенно трансформованих екосистем. Реінтродукція видів, що охороняються, збереже біорізноманіття території як Жовтокам'янського кар'єра, так і прилеглих до нього екосистем і стане можливим осередком їх поширення у прилеглі біотопи. Реалізація заходів зі збереження біорізноманіття шляхом реінтродукції видів, що охороняються, є важливим як теоретичним, так і практичним аспектом охорони генофонду дикої природи.

References

1. Vysnovok z otsinky vplyvu na dovkillia planovanoi diialnosti «Vydobuvannia vapniakiv ta hlyny Zhovtokam'ianskoho rodovyshcha (dilianka №3) z podalshym pereroblenniam syrovyny na drobarno-sortovalnii fabrytsi» [Conclusion on the assessment of the impact on the environment of the planned activity “Extraction of limestone and clay of the Zhovtokamyansk deposit (plot No. 3) and further processing of raw materials at the crushing and sorting plant”]. URL: https://adm.dp.gov.ua/storage/app/media/uploaded-files/prat_krrig_cement_2021.pdf. (in Ukrainian).

2. Hlukhoy, O. Z., & Ptytsia, V. V. (2006). Osnovni metodychni pidkhody do reintroduktsii roslyn na pivdennomu skhodi Ukrainy [Main methodological approaches to plant reintroduction in southeastern Ukraine]. *Promushlennaia botanyka [Industrial botany]*, 6, 148–156. (in Ukrainian).
3. Evtushenko, E. O., Shanda, V. I., & Malenko, Ya. V. (2017). Osnovni napriamy okhorony ta optymizatsii roslynnoho pokryvu Kryvorizhzhia. Struktura ta rozvytok kulturfitotsenoziv Kryvorizhzhia [Key areas of protection and optimization of vegetation in Kryvyi Rih. Structure and development of cultural phytocoenoses in Kryvyi Rih]. *Struktura ta rozvytok kulturfitotsenoziv Kryvorizhzhia [The structure and development of cultural phytocenoses of Kryvyi Rih]*. Ed. E. O. Yevtushenko, V. M. Savosko. Kryvyi Rih : Dionat, 100–106. (in Ukrainian).
4. Pro rozmir kompensatsii za nezakonne dobuyvannia, znyshchennia abo poshkodzhennia vydiv tvarynnoho i roslynnoho svitu, zanesenykh do Chervonoï knyhy Ukrainy, a takozh za znyshchennia chy pohirshennia seredovyshcha yikh perebuyvannia (zrostannia). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1030-2012-%D0%BF#Text> (in Ukrainian).
5. Ptytsia, V. V. (2007). Biolohichni osnovy zberezhennia rarytetnykh vydiv roslyn ex situ na pivdennomu skhodi Ukrainy [Biological basis for the conservation of rare plant species ex situ in the south-east of Ukraine] : *dys. ... kand. biol. nauk* : 03.00.05. Nats. akad. nauk Ukrainy, Donets. botan. sad. Donetsk, 178. (in Ukrainian).
6. Ptytsia, V. V. (2007). Deiaki rezultaty reintroduktsii *Valeriana officinalis* s. l. na pivdennomu skhodi Ukrainy [Some results of the reintroduction of *Valeriana officinalis* s. l. in southeastern Ukraine]. *Introduktsiia roslyn [Introduction of plants]*, 4, 44–46. (in Ukrainian).
7. Moisiienko, I. I., Didukh, Ya. P., & Burda, R. I. et al. (2010). Ekoflora Ukrainy. [Ecoflora of Ukraine]. 6. Kyiv : Fitosotsiotsentr, 422. (in Ukrainian).
8. Shanda, V. I. (2013). Teoretychni problemy ekolohii ta bioheotsenolohii [Theoretical problems of ecology and biogeocenology]. *Kryvyi Rih : Vyd. A. R. Kozlov*, 247. (in Ukrainian).
9. Godefroid, S., Piazza, C., Rossi, G., & Vanderborght, T. (2011). How successful are plant species reintroductions? *Biological Conservation*, 144 (2): 672–682. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.10.003>

10. Questad, E. J., Kellner, J. R., Kinney, K., Cordell, S., Asner, G. P., Thaxton, J., Diep, J., Uowolo, A., Brooks, S., Inman-Narahari, N., Evans, S. A., & Tucker, B. (2014). Mapping habitat suitability for at-risk plant species and its implications for restoration and reintroduction. *Ecological applications : a publication of the Ecological Society of America*, 24 (2), 385–395. <https://doi.org/10.1890/13-0775.1>
11. Maunder, M. (1992). Plant reintroduction: an overview. *Biodivers. Conserv.*, 1, 51–61. <https://doi.org/10.1007/BF00700250>
12. Rusconi, O., Broennimann, O., Storrer, Ya., & Rasmann, S. (2022). Detecting preservation and reintroduction sites for endangered plant species using a two-step modeling and field approach. *Conservation Science and Practice*, 4 (10), 1–14. <https://doi.org/10.1111/csp2.12800>

**REINTRODUCTION OF THE PROTECTED SPECIES
ADONIS VERNALIS L., TULIPA SCHRENKII REGEL DURING
THE DEVELOPMENT OF ZHOVTOKAMYANSK DEPOSIT
MINERALS**

**E. O. Yevtushenko¹, I. O. Komarova¹, Ye. V. Pozdni¹,
Yu. A. Golovchuk²**

¹ — Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

² — Kryvyi Rih Cement Private Joint Stock Company, Kryvyi Rih, Ukraine

Abstract. The development of minerals within the technogenically loaded regions leads to a decrease in areas and, accordingly, the habitats of wild plant species. Among wild plant species, special attention should be paid to species that reduce populations and need to preserve their numbers — protected species. Solving the problem of protected species conservation is carried out by compensating the state for the impact on plants associated with the extraction of minerals in the territory of their growing. This method does not solve the problem of preservation of species and phytodiversity as a whole. A promising direction is the reintroduction (resettlement) of species from natural habitats to loci located in used-up parts of quarries, industrial sites, etc.

The reintroduction of the species *Adonis vernalis* L., *Tulipa schrenkii* Regel from natural habitats in the Severnaya ravine, which is located in the zone of expansion of the mining enterprise into the exhausted part of the Zhovtokamyansky open pit (Apostolivskyi district of the Dnipropetrovsk region), was carried out according to generally known approaches. The reintroduction took place in November 2020. In March 2021, populations of *Adonis vernalis* L. were in the generative phase and *Tulipa schrenkii* Regel in the virgin phase. Further research did not reveal the beginning of the flowering process in Schrenka's tulip. The assessment of the effectiveness of the reintroduction of these protected species is preliminary. The possibility and necessity of taking measures to preserve phytodiversity in the conditions of mineral development without transferring plants to the territory of the nature reserve fund is shown. Plant reintroduction is becoming an increasingly used strategy for plant conservation, requiring improvement of modern methods, mapping of habitat suitability for endangered plant species.

The importance of reintroduction as an element of the conservation paradigm of industrial botany is emphasized.

Key words: reintroduction, protected species, phytodiversity, Zhovtokamyansky open pit.

Citation as:

APA Yevtushenko, E. O., Komarova, I. O., Pozdnii, Ye. V., & Golovchuk, Yu. A. (2022). Reintroduktsiia okhoroniuvanykh vydiv *Adonis vernalis* L., *Tulipa schrenkii* Regel pry rozrobtsi korysnykh kopalyn Zhovtokamianskoho rodovyshcha. [Reintroduction of the protected species *Adonis vernalis* L., *Tulipa schrenkii* Regel during the development of minerals of the Zhovtokamyansk deposit]. *Ekolohichnyi visnyk Kryvorizhzhia [Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District]*, 7, 74–92. <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v7i0>.

ДСТУ 8302:2015 Євтушенко Е. О., Комарова І. О., Поздній Є. В., Головчук Ю. А. Реінтродукція охоронюваних видів *Adonis vernalis* L., *Tulipa schrenkii* Regel у процесі розробки корисних копалин Жовтокам'янського родовища. *Екологічний Вісник Криворіжжя*. 2022. Вип. 7. С. 74–92.

ISSN 2664–505X (print)

ISSN 2664–5068 (online)

Екологічний вісник Криворіжжя : зб. наук. і наук.-метод. праць. / голов. ред. Е. О. Євтушенко. Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2022. Вип. 7. 94 с.

Наукове видання

**ЕКОЛОГІЧНИЙ ВІСНИК
КРИВОРІЖЖЯ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ
І НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПРАЦЬ**

Випуск 7

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу
масової інформації
КВ № 24109-13949 ПР від 22.07.2019 р.*

Підписано до друку 12.01.2023.

Формат 60 × 84 $\frac{1}{16}$. Папір офсетний. Друк офсетний.

Ум.-друк. арк. – 5,9. Наклад – 100 прим.

Адреса редакції та видавця:

Видавничий центр

Криворізького державного педагогічного університету

50086 Кривий Ріг, просп. Гагаріна, 54.

Тел.: +38 (056) 470-13-34 +38 (056) 470-13-38

E-mail: kdpu@kdpu.edu.ua

k_botanical@kdpu.edu.ua ekolog_kdpu@email.ua

<https://journal.kdpu.edu.ua/>