

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 9

Кривий Ріг

2025

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 9

Kryvyi Rih
2025

*ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ:
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради
Криворізького державного педагогічного університету
(протокол № 8 від 19 грудня 2024 р.)

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

Заступники головного редактора: **І. Гайльмайєр**, 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.

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)

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

Зміст

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ	6
М. О. КВІТКО, А.М. КАБАР, Т. Ю. ЛИХОЛАТ, О. А. ЛИХОЛАТ, Ю. В. ЛИХОЛАТ. СУЧАСНИЙ СТАН ПАРКОВИХ ДЕРЕВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я УКРАЇНИ	6
Е.О.ЄВТУШЕНКО, Н.О.АХМАТОВА, Н. ГРАЧОВ, К. ЛИХОШАПКО СУЧАСНИЙ СТАН ФЛОРИ В ЗОНІ ВПЛИВУ ВІДВАЛУ «2-3» ПАТ «АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ».	15
Т. М. АЛЬОХІНА, Є. С. ГУСАК МАКРОФІТИ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ L.I. BRONNIKOVA, L.O. KHOMENKO ECOLOGICAL APPROACH TO THE CONSERVATION OF AGRICULTURAL PLANTS ON THE EXAMPLE OF TRITICUM AESTIVUM L.: MORPHOMETRIC, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL REACTIONS	23
Л. І. БРОННІКОВА, І.О. ЗАЙЦЕВА, Л.О. ХОМЕНКО, М.О. ДИКУН ВИКОРИСТАННЯ КЛІТИННОЇ СЕЛЕКЦІЇ В ОТРИМАННІ СТРЕС - СТІЙКОГО ТЮТЮНУ (NICOTIANA TABACUM L.), ДО МОДЕЛЬОВАНОГО ЗАСОЛЕННЯ ТА ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ	39
І.Г.СУЩЕНКО, А.М.КАБАР, М.О.КВІТКО, Ю.В.ЛИХОЛАТ РІДКІСНІ ТА ЗНИКАЮЧІ ВИДИ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН, ЩО ЗРОСТАЮТЬ У ЛІСОПАРКУ ДРУЖБИ НАРОДІВ (М. ДНІПРО).	45
V.U. AKHMEDOVA, H.K. JURAEVA, A.T. KHAZRATOV, F.U. MUSTAFINA, S.KH. ABDINAZAROV CONSERVATION OF THE DIVERSITY OF BOTANICAL GARDEN COLLECTIONS USING IN VITRO TECHNIQUES: A CASE STUDY OF MORUS RUBRA L.	53
A.T. KHAZRATOV, H.K. JURAEVA, V.U. AKHMEDOVA, F.U. MUSTAFINA1, S.KH. ABDINAZAROV CONSERVATION OF THE DIVERSITY OF BOTANICAL GARDEN COLLECTION WITH THE USE OF IN VITRO TECHNIQUES WITH EXAMPLE OF PTELEA TRIFOLIATA L. (RUTACEAE JUSS.)	60
	66
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ, ВИХОВАННЯ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН	73
Y.V. PRYSTUPA, I. PETRENUCHUK CONCEPT OF DEVELOPMENT OF NATURAL EDUCATION IN THE CONDITIONS OF NEURAL NETWORK ITERATIONS	73

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВИХ РЕГІОНІВ

СУЧАСНИЙ СТАН ПАРКОВИХ ДЕРЕВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я УКРАЇНИ

М. О. Квітко^{1,2}, А. М. Кабар^{2,3}, Т. Ю. Лихолат², О. А. Лихолат⁴, Ю. В. Лихолат²

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

² Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

³ Ботанічний сад Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

⁴ Університет митної справи та фінансів, м. Дніпро, Україна

Анотація. В антропогенно змінених ландшафтах степового Придніпров'я регуляція абіотичних атмосферних і ґрунтоутворювальних процесів, зокрема за рахунок щільності штучно створених лісових екосистем шляхом динамічного відновлення родючості ґрунтів, є, на нашу думку, перспективною програмою для післявоєнного періоду відновлення ресурсів лісових фондів регіонів України. Осередки інтродукційних деревних видів мережею парків вкрили територію Дніпровського регіону України та суттєво змінили загальний вигляд лісових екосистем степового Придніпров'я. Парки займають незначні площі але несуть значне рекреаційне навантаження. Експлуатація в садівництві призвела до того, що невелика кількість видів була знищена в дикій природі та вижила в культивуванні. Рослинні ресурси територій дендропарків і громадських парків експлуатуються до економічного або біологічного вимирання. За останні 3-5 роки для більшої частини Дніпровського регіону немає чіткого консенсусу щодо темпів зменшення інтродукованих деревних видів і популяції деревних рослин природного та штучного походження. Метою проведених досліджень видового складу паркових насаджень, було визначення рівня життєвості та сучасного стану в умовах урбанізованих територій степового Придніпров'я, підрахунок кількості деревних рослин, встановлення вікової структури та відсоткового співвідношення деревостану на прикладі парків м. Дніпро та м. Кривого Рогу. Особливий інтерес викликають на тепер дерева – довгожителі, домінантні види наявної дендрофлори. Вони представляють величезний інтерес як представники цінного генофонду. На основі зробленої роботи по кожному парку був складений інвентаризаційний план та паспорт об'єкту міського господарства.

Ключові слова: адаптаційні стратегії деревних рослин, особливості дерев у міських умовах, стрес, стійкість деревостанів.

CURRENT STATUS OF PARKLAND TREES IN URBANIZED STEPPE AREAS OF THE DNIPRO REGION IN UKRAINE

М. О. Kvitko^{1,2}, А. М. Kabar^{2,3}, Т. Y. Lykholat², О. А. Lykholat⁴, Y. V. Lykholat²

¹ Kryvyi Rih State Pedagogical University, Kryvyi Rih, Ukraine

² Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

³ Botanical Gardens of Oles' Gonchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

⁴ University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine

Abstract. In the anthropogenically altered landscapes of the Dnieper Steppe, the regulation of abiotic atmospheric and soil-forming processes, in particular through the density of artificially created forest ecosystems through dynamic restoration of soil fertility, is, in our opinion, a promising program for the post-war period of restoration of Ukrainian forest resources in the regions. Plant resources are exploited to economic and biological extent. Exploitation in horticulture has led to the fact that a small number of species have been destroyed in the wild and survived in cultivation. Over the past 3-5 years, there has been no clear consensus for most of the Dnipro region on the rates of reduction of introduced tree species and populations of woody plants of natural and artificial origin. The centers of introduced tree species have covered the territory of the Dnipro region of Ukraine with a network of parks and have significantly changed the general appearance of the forest ecosystems of the Dnipro steppe. Parks occupy small areas, but carry significant recreational value. Download. By conducting studies of the species composition of park plantings, the level of vital activity and current state in the conditions of urbanized territories of the Dnipro steppe, counting the number of woody plants, installing the age structure and percentage composition of the tree stand on the example of the park of the city of Dnipro and the city of Kryvyi Rih. Using the method of conducting research on the species composition of park plantings, the level of vital activity and current state in the conditions of urbanized territories of the Dnieper steppe region were determined, the number of woody plants was counted, and the age structure and percentage composition of the tree stand were established using the example of the parks of the city of Dnipro and the city of Kryvyi Rih. Of particular interest now are trees - long-lived, dominant species of the existing dendroflora. They are of great interest as representatives of a valuable gene pool. Based on the work done for each park, an inventory plan and a passport of the municipal facility were drawn up.

Keywords: adaptation strategies of woody plants, features of trees in urban areas, stress, stability of tree stands.

Вступ. Вимирання деревних видів інтродукованих рослин, зареєстровані МСОП та Всесвітнім центром моніторингу охорони природи (WCMC), частково відображають географічний розподіл ботанічних знань і моніторингу, а не фактичні темпи втрати різноманіття деревних видів і заселення інвазійних агресивних деревних рослин. На початку ХХІ ст. генофонд інтродукованих деревних рослин в Україні складався з 2491 виду і 715 форм та культиварів дерев, кущів, ліан – усього 3206 таксонів, що в 6 разів більше кількості видів природної дендрофлори України [1, 2, 3, 4, 5, 10, 33].

Стан паркової дендрофлори залежить від забруднення повітряного простору індустріальних центрів видобутку та переробки корисних копалин Південного Сходу України. Перевищення межово допустимих концентрацій техногенного пилу, діоксиду азоту та сірки, формальдегіду, фенолу, аміаку та інших забруднювачів в повітряному просторі великих міст приводить до утворення кислотних дощів та фотохімічного смогу. Все це значно посилюється за рахунок ефекту сумації та призводить до підвищеного рівня забруднення в багатьох промислових центрах Дніпровського регіону [20, 21, 17, 23, 31] за харчовими ланцюгами надходити до організму тварин [25, 19] та людини [9, 1, 26, 9]. Фізіологічні процеси адаптації деревних насаджень до забруднення ґрунтового покриву та пилового чи газозабруднення досліджені в роботах як закордонних, так і вітчизняних дослідників [8, 13, 14, 27, 28, 32, 34, 35].

Для підтримання нормального стану існуючих міських деревних насаджень необхідне здійснення масштабних дій з моніторингу, планування та керування процесами відновлення деревних екосистем різного видового складу [14]. Для цього протягом

вже тривалого часу використовується інвентаризація рослин природних екосистем, штучних деревних насаджень [9] степового Придніпров'я.

Інтродукційний резерв декоративних деревних рослин для України складає близько 5 тисяч видів. При цьому треба врахувати, що історичний досвід засвідчив, що протягом одного десятиріччя в широку культуру впроваджується 5 видів або форм деревних рослин. Із усієї кількості аборигенних та інтродукованих видів і форм дендрофлори України в культурі використовується на рівні 1/10 частка усіх таксонів. Інші залишаються незадіяними і мають лише цінність як генофонд для майбутнього [10, 14, 33].

З 90-х років ХХ століття з-за кордону в Україну почався масовий увіз сортів, культиварів, форм декоративних рослин, які стали широко використовуватися в озелененні приватних садиб, а пізніше – при закладанні приватних розсадників декоративних рослин [10, 13]. Стихійно розпочався новий внутрішньовидовий етап інтродукції, в якому в деякій мірі беруть участь і ботанічні сади. Безумовно в цілому цей процес має позитивний характер, але при цьому зменшилась питома вага нових інтродукованих видів.

Одна з форм збереження лісового генофонду для подальшого відтворення і ренатуралізації – створення колекційних ділянок закладкою колекційних культур і клонових архівів. Так зберігають всі види деревних рослин, занесених в Червону книгу, а також рідкісні екотиби, різновидності, цінні форми, плюсові та елітні дерева, відібрані для насінництва [2].

Іншою формою збереження генофонду являється охорона окремих насаджень і дерев на території парків та скверів. Цей шлях використовують в лісовому господарстві відповідно з Основним положенням і вказівками по порядку відбору та обліку плюсових дерев і насаджень, постійних лісонасінневих ділянок і плантацій в лісовому господарстві, а також при виділенні пам'ятників природи. Метою збереження окремих насаджень і дерев (унікальних, еталонних, елітних, плюсових) у природних умовах є тривале використання їх у селекційно-генетичній роботі. Надзвичайна довговічність – це і надзвичайна життєстійкість, у великій мірі зумовлена їх біологічними спадковими властивостями. Використовуючи такі дерева як маточні і насінневі, і як донори для гібридизації, можна створювати більш довговічні продуктивні ліси, особливо захисні, паркові, курортні. Такі дерева дозволяють також з'ясувати рекордні можливості росту, накопичення біомаси, граничної довговічності деревних порід. Аналізуючи взяті ще за життя з цих дерев проби деревини (керни), можна виявити за річними кільцями закономірності зміни фізико-географічного середовища за великі відрізки часу, враховувати їх в лісівництві. Старовікові дерева дозволяють реставрувати рослинність і ландшафти минулого [2, 4, 5].

Метою дослідження було визначення видового складу паркових насаджень, підрахунок кількості деревних рослин, відсоткове співвідношення та встановлення вікової структури деревостану урбанізованих територій степового Придніпров'я на прикладі парків м. Дніпро та м. Кривого Рогу.

Матеріали та методи. Інвентаризація використовується для визначення видового різноманіття та домінантних видів міських насаджень [7], моніторингу життєздатності та оцінки стану насаджень [22], визначення критеріїв ефективного управління та планування міських екосистемних послуг, оцінки розповсюдження та пошкоджуваності міських насаджень шкідниками та хворобами [12]. Дослідження проводилися впродовж 2016-2024 років. Досліджувались деревні насадження міських парків м. Дніпро та м. Кривий Ріг [14, 29, 30, 31].

Ключові ділянки були закладені на території парків Володі Дубініна, Соборний р-н, м. Дніпро, за координатами 48° 42' 47" N 35° 03' 50" E, загальна площа паркових

насаджень – 3,4 га (0,034 км²) та парк Писаржевського, м. Дніпро, за координатами 48° 43' 39" N 35° 01' 56" E, загальна площа паркових насаджень – 7,9 га (0,079 км²). Парки знаходяться на правому березі міста, обмежені селітебною забудовою та великими транспортними розв'язками.

На території м. Кривий Ріг були розташовані 5 ключових ділянок в межах дендропарку Веселі Терни що знаходяться у заплаві р. Саксагань, Тернівського р-ну, м. Кривого Рогу за координатами 48° 04' 56" N 33° 32' 38" E. Сучасна територія парку становить близько 17,2 гектар. Деревні насадження різного типу мають загальну площу – 31 га (0,31 км²). А також з ключові ділянки на території Довгинцівського дендропарку, що знаходяться у м. Кривий Ріг, Довгинцівський р-н, за координатами 47° 53' 26" N 33° 32' 02" E, загальна площа становить 52 га (0,52 км²). Парки на території м. Кривого Рогу знаходяться віддалено від центру міста та території промислових гірничовидобувних підприємств.

Найбільш поширеним методом моніторингу зелених насаджень є польовий метод інвентаризації та візуальний огляд, який і був нами використаний. Інвентаризацію проводили у відповідності до “Інструкції з інвентаризації зелених насаджень в населених пунктах України” [16]. Проводили прямі виміри та візуальний огляд дерев в насадженні. Місцезростання окремих дерев було визначене за допомогою GPS навігатора та нанесене на карту. Також в процесі дослідження встановлювалася оцінка загального якісного стану дерев; аналіз пошкодження дерев шкідниками та захворюваності; ідентифікація фаутичних небезпечних дерев, котрі необхідно видалити; визначення послідовності дій для подальшої реконструкції міських паркових насаджень; встановлення участі в деревному покриві парків інвазійних видів.

Габарити дерев та якісний стан деревостану визначалися за методиками описаними раніше [14, 29, 30, 31]

Результати. За попередніми геоботанічними дослідженнями встановлено, що ґрунтовий покрив паркових масивів належить до антропогенно-поверхнево-перетвореного типу міських ґрунтів. Базовий тип ґрунту – чорнозем малогумусний, карбонатний, середньосуглинистий. Водозабезпечення ґрунтів – атмосферне.

Обидва парки м. Дніпра можна віднести до змішаних одноярусних насаджень з зімкнутістю крон 0,5 – 0,65. Видовий склад деревних порід парку Дубініна переважно представлений малоцінними видами. Ріст дерев значно уповільнений. Кількість сухих гілок в кроні перевищує 20%. Присутня велика кількість рудеральної рослинності. Видовий склад деревних порід парку Писаржевського різноманітніший. Деревна мають ознаки уповільненого росту та до 20% сухих гілок в кроні. Чагарниковий ярус повністю відсутній. Забур'яненість низька. Майже половина усіх дерев парку Дубініна – це молоді рослини, переважно представлені інвазійними видами. В парку Писаржевського, навпаки, домінують середньовікові, старіючі та старі екземпляри. Стан здоров'я більшості дерев обох парків оцінено як задовільний. У парку Дубініна знайдено 17,3% фаутичних та 0,7% мертвих дерев. В парку Писаржевського фаутичних рослин нараховується 19% та сухостою 2,1%.

Дендропарки Веселі Терни що знаходяться у заплаві р. Саксагань, Тернівського р-ну, м. Кривого Рогу, Дніпропетровської обл., має період закладання від 1895 рік, а також Довгинцівський дендропарк, що знаходяться у м. Кривий Ріг, Довгинцівський р-н, період закладання – 1955 рік. розташовані в межах м. Кривого Рогу і були закладені від 130 до 70 років тому. Середній вік насадження становить 95 років, відносний вік оцінюється як – стиглі. Світлова структура змінюється від напівосвітленої до напівтіньової. Екосистеми цих дендрологічних парків на території м. Кривого Рогу характеризуються частково сформованою вертикальною структурою, подекуди відсутній III ярус або є незначна кількість підросту. Ці екосистеми

знаходяться у відносно сприятливих екологічних умовах Криворіжжя сформовані домінуючим I-II ярусом із представників видів *Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L., *Ulmus laevis* Pall. Крім того, у III ярусі цих екосистеми також присутні інвазивні рослини *Acer negundo* L., *Acer campestre* L., *Populus alba* L., *Acer platanoides* L., *Ulmus glabra* Hudson, *Morus nigra* L., *Salix fragilis* L., *Acer tataricum* L.. Деревні екосистеми Довгинцівського парку та парку Веселі терни можна віднести до зони з відносно несприятливими екологічними умовами росту та розвитку деревних рослин. У досліджених штучних деревних та чагарникових насадженнях із достатнім рівнем зволоження і відносно сприятливими екологічними умовами середня густина насаджень I, II і III ярусів становить 1925-13050 шт./га, висота становила від 11,3 м до 18,3 м (I ярус), діаметр стовбурів – від 12,1 см до 41,7 (I ярус). Водночас запас деревини насаджень складав від 993 до 1912 м³/га, а сума площ поперечних зрізів становить 32 – 36 м²/га. Співвідношення між I, II і III ярусами деревних та чагарникових насаджень відмінне від контролю: за усередненими показниками висоти дерев становить 1,0 : 0,85 : 0,31 а за усередненими показниками діаметрів стовбурів дерев – 1,0 : 0,6 : 0,23.

Зафіксовані пошкодження *Aesculus hippocastanum* каштановою міллю, *Ulmus* графіозом. На багатьох рослинах *Acer*, *Populus*, *Robinia pseudoacacia* та *Prunus armenica* зафіксовані плодові тіла трутовиків. Особливу загрозу для парків являють агресивні інвазійні види, що здатні значною мірою погіршувати стан паркових систем.

Табл. 1: Систематичний склад дерев парків м. Дніпро

Table 1. Systematic composition of trees in parks in the city of Dnipro

Рід	Таксономічна одиниця		Рід	Таксономічна одиниця	
	парк Дубініна	парк Писаржевського		парк Дубініна	парк Писаржевського
<i>Acer</i> L.	3	5	<i>Pinus</i> L.	-	2
<i>Aesculus</i> L.	1	1	<i>Populus</i> L.	5	3
<i>Ailanthus</i> Desf.	1	1	<i>Prunus</i> L.	2	2
<i>Betula</i> L.	1	2	<i>Pyrus</i> L.	1	3
<i>Celtis</i> L.	-	1	<i>Rhamnus</i> L.	-	1
<i>Fraxinus</i> L.	1	3	<i>Robinia</i> L.	1	1
<i>Juglans</i> L.	1	1	<i>Salix</i> L.	2	1
<i>Koelreuteria</i> L.	1	-	<i>Sorbus</i> L.	1	-
<i>Malus</i> P. Mill.	1	1	<i>Styphnolobium</i> Schott	-	1
<i>Morus</i> L.	1	1	<i>Tilia</i> L.	1	4
<i>Picea</i> A.Dietr.	-	2	<i>Ulmus</i> L.	3	4

Обговорення. В парку Писаржевського ґрунтові води залягають глибоко й суттєвого впливу на водне живлення рослин не мають. В парку Дубініна ґрунтові води перебувають на різних глибинах, місцями виходячи на поверхню. Характерною рисою парку Дубініна є відсутність якого-небудь догляду за рослинами на більшій частині території. Насадження цього парку належить до насаджень змішаного типу, повнота дерев першого ярусу від 0,5 до 0,6. Загальне таксономічне різноманіття представлене

в таблиці 1 нараховує (табл. 1). Хвойні породи відсутні.

Табл. 2: Систематичний склад дерев парків м. Кривий Ріг

Table 2. Systematic composition of trees in parks in the city of Kryvyi Rih

Рід	Таксономічна одиниця		Рід	Таксономічна одиниця	
	парк Довгинцівський	парк Веселі Терни		парк Довгинцівський	парк Веселі Терни
<i>Acer L.</i>	6	5	<i>Parthenocissus Planch.</i>	1	-
<i>Aesculus L.</i>	1	1	<i>Picea A.Dietr.</i>	-	1
<i>Ailanthus Desf.</i>	1	1	<i>Philadelphus L.</i>	1	-
<i>Amelanchier Medik.</i>	1	-	<i>Physocarpus (Cambess.) Maxim.</i>	1	-
<i>Berberis L.</i>	1	1	<i>Pinus L.</i>	1	1
<i>Betula L.</i>	2	1	<i>Platanus L.</i>	1	-
<i>Caragana Lam.</i>	1	-	<i>Populus L.</i>	1	2
<i>Celtis L.</i>	1	1	<i>Prunus L.</i>	4	2
<i>Chaenomeles Lindl.</i>	1	1	<i>Ptelea L.</i>	1	-
<i>Colutea L.</i>	1		<i>Pyrus L.</i>	1	1
<i>Cornus L.</i>	1		<i>Quercus L.</i>	2	1
<i>Corylus L.</i>	1		<i>Rhamnus L.</i>	1	1
<i>Cotoneaster Medik.</i>	1	1	<i>Robinia L.</i>	1	1
<i>Crataegus Tourn. ex L.</i>	2	1	<i>Rosa L.</i>	1	1
<i>Cydonia Mill.</i>	1	1	<i>Salix L.</i>	1	1
<i>Elaeagnus L.</i>	1	1	<i>Solidago L.</i>	1	-
<i>Forsythia Vahl.</i>	1	-	<i>Sorbus L.</i>	1	-
<i>Fraxinus L.</i>	1	3	<i>Styphnolobium Schott</i>	1	-
<i>Humulus L.</i>	1	1	<i>Symphoricarpos Dill. ex Juss.</i>	1	-
<i>Juglans L.</i>	2	1	<i>Syringa L.</i>	1	1
<i>Juniperus L.</i>	2	2	<i>Swida Opiz,</i>	1	-
<i>Laburnum Fabr.</i>	1	-	<i>Tamarix L.</i>	1	1
<i>Larix Mill.</i>	1	-	<i>Thuja L.</i>	3	2
<i>Ligustrum L.</i>	1	1	<i>Tilia L.</i>	1	-
<i>Lonicera L.</i>	2	1	<i>Ulmus L.</i>	2	3
<i>Mahonia Nutt.</i>	1	-	<i>Viburnum L.</i>	1	1
<i>Malus P. Mill.</i>	2	1	<i>Wisteria Nutt.</i>	1	1
<i>Mespilus L.</i>	1	-	<i>Wisteria Nutt.</i>	1	-
<i>Morus L.</i>	1	1			

В парку Веселі Терни знаходяться з відносно високим рівнем поверхневого зволоження на рівні 52 м абсолютної висоти в заплаві річки Саксагань. Заплава суха, зайнята луками, однобічна, місцями відсутня. У період весняної повідді заплава затоплюється на глибину 1,0-1,5м. Русло на території парку звивисте. Деревні насадження Довгинцівського парку знаходяться на рівні 105 м абсолютної висоти недалеко від водного каналу Дніпро-Кривий Ріг. Більшість підземних водоносних горизонтів

характеризуються низьким об'ємом заключеної в них води, деякі - обмеженим територіальним поширенням.

Загальний напрям стоку підземних вод Криворіжжя – південний напрям, в бік Причорноморської тектонічної западини, а також до місцевого базису ерозії – річкових долин, балок, ярів, подів [24].

Для обох парків Криворіжжя також характерна відсутність постійного догляду за станом деревних рослин але масові вирубки поки не зафіксовані. На частині території випас худоби та місця неконтрольованого відпочинку з наявними слідами багаття і сміття. Насадження парків дослідницьких ділянок Криворіжжя належить до насаджень змішаного типу, з присутністю хвойних видів у незначній кількості. Повнота дерев першого ярусу від 0,6 до 0,83 (табл. 2).

Висновки. Таким чином, інвентаризація зазначених паркових насаджень м. Дніпро та м. Кривий Ріг встановила ситуацію, ускладнену повною відсутністю догляду за деревними видами цих рекреаційних локацій. Протягом тривалого часу не проводилися санітарні рубки хворих та мертвих інфікованих дерев, формуюча, санітарна та омолоджувальні обрізки крон дерев та кущів. Не прибиралася напровесні разом з насінням деревних видів рослин опад та підстилка листя на поверхні ґрунту, що призвело до утворення чисельного самосіву та підросту інвазійних деревних культур та окремих аборигенних видів. Внаслідок цього густий підлісок із самосівних інвазійних дерев та чагарнику *Sambucus nigra* L. порушує нормальну циркуляцію повітря та створює сприятливе середовище для розвитку різних патогенів. Окрім цього, самосів окремих видів призводить до руйнації господарської забудовлі, доріжок, бордюрів тощо. Неприбрані мертві дерева також сприяють захащеності паркової території.

References

1. Afanas'yev, S. V., & Lykholat, O. A. (2005). Rehional'ni osoblyvosti vil'noradykal'noho okysnennya lipidiv ta antyoksydantnoyi systemy u khvorykh na khronichnyy pankreatyt. Med. khimiya, 7(1), 33-36. (in Ukrainian).
2. Baranets'kyi, H. H., & Hrechanyk, R. M. (2005). Lisova henetyka. L'viv: TzOV "Firma" Kamula. (in Ukrainian).
3. Bidolakh, D. (2023). Otsinka ekosystemnykh funktsiy zelenykh nasadzhen', yak vazhlyva skladova yikh inventaryzatsiyi u konteksti staloho rozvytku urbolandshaftiv. Ukrayins'kyi zhurnal lisivnytstva ta derevynoznavstva, 14(1), 8-26. (in Ukrainian).
4. Bidolakh, D.I. (2020). Geoinformation monitoring of green stands using remote sensing methods. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 11(2), 4-14. doi: 10.31548/forest2020.02.004.
5. Bidolakh, D.I., & Lakyda, P.I. (2019). Inventory of green plants using modern information technologies. Forestry and Landscape Gardening, 16, 126-132.
6. Cimburova, Z., & Barton, D.N. (2020). The potential of geospatial analysis and Bayesian networks to enable i-Tree Eco assessment of existing tree inventories. Urban Forestry & Urban Greening, 55, article number 126801. doi: 10.1016/j.ufug.2020.126801.
7. Cullen, S. (2002). Tree appraisal: can depreciation factors be rated greater than 100%?. *Journal of Arboriculture*, 28(3), 153-158.

8. Fedorchak, E. R., Savosko, V. M., Krasova, O. O., Komarova, I. O., & Yevtushenko, E. O. (2023, October). Ecological adaptations among spruce species along an environmental gradient in urban areas. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1254, No. 1, p. 012114). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1254/1/012114
9. Ivanchenko, O. E., & Bessonova, V. P. (2016). Indication of the condition of woody plants of parks in Dnipropetrovsk on morpho-physiological indexes. *Biosystems Diversity*, 24(1), 109-118. doi: 10.15421/011613
10. Kokhno, M. A., & Kuznetsova, S. I. (2007). Istoriya introduktsiyi derevnykh roslyn v Ukrayini (korotkyy narys). K.: Fitosotsiotsentr. (in Ukrainian).
11. Kotsarev, O. S., Antonyuk, S. V., & Lykholat, O. A. (2001). Strukturno-funktsional'ni osoblyvosti aerohematychnoho bar'yera lehen' za umov inhalyatsiynoyi diyi nyz'kykh kontsentratsiy soli svyntsyyu. *Fiziologichnyy*. (in Ukrainian).
12. Kronenberg, J., & Hubacek, K. (2013). Urban ecosystem services.
13. Kuznetsov, S. I. (2013). Ecological and biological basis of the restoration of old parks in Polissya and Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Introduction*, 58, 97-98.
14. Kvitko, M. O., Savosko, V. M., Lykholat, Y. V., Holubiev, M. I., Hrygoruk, I. P., Lykholat, O. A., ... & Ovchinnikova, Y. Y. (2022, June). Assessment of the ecological hybrid threat to industrial area in connection with the vital state of artificial woody plantations in Kryvyi Rih District (Ukraine). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1049, No. 1, p. 012046). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/1049/1/012046
15. Lanhui, W., & Ibrahim, A. S. (2024). Unraveling the environmental consequences of trade openness in South Africa: a novel approach using ARDL modeling. *Environmental Research Communications*, 6(5), 055011. doi: 10.1088/2515-7620/ad46ef
16. Zakon Ukrayiny "Pro rehulyuvannya mistobudivnoyi diyal'nosti". Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text> (in Ukrainian).
17. Lykholat, YU. V., & Hryhoryuk, I. P. (2005). Vykorystannya dernoutvoryuyuchykh trav dlya diahnostyky rivnya zabrudnennya navkolyshn'oho seredovyshcha vazhkymy metalamy. *Dopovidi NANU*, (8), 196-200. (in Ukrainian).
18. Lykholat, T. YU., & Lykholat, O. A. (2016). Vplyv syntetychnykh estroheniv na pokaznyky prooksydantno-antyoksydantnoyi systemy orhaniv shchuriv riznoho viku v doslidakh in vitro. *Biologichni systemy*, (8, Vyp. 1), 8-14. (in Ukrainian).
19. Lykholat, O. A. (2001). Vil'no radykal'ni protsesy za pnevmopatiyi, sprychynenoyi nyz'kymy kontsentratsiyamy soley strontsiyu. *Dovkillya ta zdorov'ya*, (4), 37-39. (in Ukrainian).
20. Licholat, Yu. V. (1999). Ekoloho-fiziologichni doslidzhennya bahatorichnykh dernoutvoryuyuchykh zlakiv tekhnohennykh terytoriy. D.: Vyd-vo Dnipropetr. un-tu. (in Ukrainian).
21. Mytsyk, L. P., & Lykholat, Yu. V. (1997). Dernovyy pokryv tekhnohennykh terytoriy. D.: DDU. (in Ukrainian).

22. Ninic-Todorovic, J., Mladenovic, E., Cukanovic, J., Sentic, I., Lakic, A., Todorovic, D., & Todorovic, I. (2015). Bio-ecological dendroflora characteristics of the district park in Novi Sad. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 61(2), 51.
23. Opanasenko, V. F., Lykholat, YU. V., Rudnyts'ka, O. M., & Hovorun, I. O. (1998). Bahatorichni kvitkovo-dekoratyvni roslyny dlya ozelenennya promyslovoho mista. Promyslova botanika: stan ta perspektyvy rozvytku. Donets'k: Mul'typres, 277-281. (in Ukrainian).
24. Paran'ko, I. S. Vodni heosystemy Kryvorizhzhya / I. S. Paran'ko, V. L. Kazakov // Fizychna heohrafiya Kryvorizhzhya : monohrafiya / I. S. Paran'ko, V. L. Kazakov, O. O. Kalinichenko [ta in.]. – Kryvyi Rih, 2015. – S. 103–132. Available at: <http://elibrary.kdpu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/5025> (in Ukrainian).
25. Pokhylenko, A., Lykholat, O. A., Didur, O. O., Kulbachko, Y. L., & Lykholat, T. Y. (2019). Morphological variability of *Rossius kessleri* (Diplopoda, Julida) from different biotopes within Steppe Zone of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 176-182. doi: 10.15421/2019_24
26. Ponomarenko, L. A., Lykholat, O. A., & Ponomarenko, O. A. (2018). Zminy pokaznykiv okysnoho homeostazu u khvorykh na kyslotozalezni zakhvoryuvannya pry likuvanni. Medychna ta klinichna khimiya, (20, № 3), 84-89. (in Ukrainian).
27. Pretzsch, H., & Grote, R. (2023). Tree Mortality: revisited under changed climatic and silvicultural conditions. In *Progress in Botany* Vol. 84 (pp. 351-393). Cham: Springer Nature Switzerland. doi: 10.1007/124_2023_69
28. Pretzsch, H., Del Río, M., Arcangeli, C., Bielak, K., Dudzinska, M., Forrester, D. I., ... & Biber, P. (2023). Forest growth in Europe shows diverging large regional trends. *Scientific Reports*, 13(1), 15373. doi: 10.1038/s41598-023-41077-6
29. Savos'ko, V. M., & Kvitko, M. O. (2018). Ekolohichni osoblyvosti vidnosnoho zhyttyevoho stanu lisovykh kul'turfitotsenoziv Kryvorizhzhya. doi: 10.31812/123456789/3635 (in Ukrainian).
30. Savos'ko, V. M., Kvitko, M. O., Hryhoryuk, I. P., Serha, O. I., Lykholat, Yu. V., & Andrits'o, M. O. (2018). Heterohennist' biometrychnykh pokaznykiv lisovykh kul'turfitotsenoziv v ekolohichnykh umovakh Kryvorizhzhya. Bioresursy i pryrodokorystuvannya, (10, № 1-2), 14-23. (in Ukrainian). doi.org/10.31812/0564/2083
31. Savosko, V., Komarova, I., Lykholat, Y., Yevtushenko, E., & Lykholat, T. (2021, March). Predictive model of heavy metals inputs to soil at Kryvyi Rih District and its use in the training for specialists in the field of Biology. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1840, No. 1, p. 012011). IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1840/1/012011
32. Seliger, A., Ammer, C., Kreft, H., & Zerbe, S. (2023). Changes of vegetation in coniferous monocultures in the context of conversion to mixed forests in 30 years—Implications for biodiversity restoration. *Journal of Environmental Management*, 343, 118199. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118199
33. Turchynova, N. P., Hudym, O. V., Rozhkov, R. V., Kryvoruchenko, R. V., & Derevyanko, I. O. (2022). Seleksiya ta henetyka dekoratyvnykh roslyn. Chastyna 2. (in Ukrainian).

34. Yevtushenko, E. O., Komarova, I. O., & Pozdnyy, Ye. V. (2023). Zhyttyevyy stan vydiv derevno-chaharnykovykh kul'turfitotsenoziv tsentral'noho prommaydanchyka PRAT TSHZK (Kryvyy Rih). Roslyny ta urbanizatsiya: Materialy KHII Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi (Dnipro, 1 lyutoho 2023 r.). Dnipro, 2023. 162 s., 62. (in Ukrainian).
35. Yevtushenko, E., Komarova, I., Pozdnyy, Ye., Fedyanina, I., & Broshko, Ye. (2023). Stvorennya chaharnykovykh uhrupovan' yak oseredkiv vidnovlennya bioriznomanitya Zhovtokamyans'koho kar"yeru. Ekolohichnyy visnyk Kryvorizhzhya, 8(8), 24-38. (in Ukrainian).

СУЧАСНИЙ СТАН ФЛОРИ В ЗОНІ ВПЛИВУ ВІДВАЛУ “2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ”.

Е. О. Євтушенко¹, Н. О. Ахматова¹, Н. А. Грачов¹, К. В. Лихошапко¹

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

Анотація. Рослинні угруповання прилеглі до відвалів на відміну від рослинних угруповань відвалів є маловивченими з флористичної точки зору і потребують ґрунтовних досліджень задля встановлення видового складу рослин. Такі дослідження дозволять встановити особливості таксономічного складу рослинних угруповань сформованих між відвалами і територіями сільськогосподарського призначення. Нами проведені дослідження таксономічного складу рослинних угруповань в зоні впливу відвалу “2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ” поблизу с. Степове. Видовий склад з'ясовували на 42 пробних площадках, які були закладені навколо відвалу. Встановлено, що сучасний видовий склад рослинних угруповань в зоні функціонування відвалу “2-3” складають 97 видів покритонасінних рослин з 36 родин. У складі рослинних угруповань 28 видів дерев і чагарників, що належать до 16 родин. До Червоної книги України належать – Зморшок степовий, Гадюча цибулька занедбана, Ковила волосиста, Мигдаль степовий, Чебрець двовидний. До Регіонального списку охороняємих рослин Дніпропетровської області належить 3 види – Гадюча цибулька занедбана, Чебрець двовидний і Мигдаль степовий. Таким чином, флора зони впливу відвалу, сформована в результаті процесів самозаростання має ознаки степової і представлена переважно дикоростучими видами степового флороценотипу.

Ключові слова: відвал, флора відвалу, таксономічний спектр.

CURRENT STATE OF FLORA IN THE ZONE OF INFLUENCE OF DUMP “2-3” OF PJSC “ARCELORMITTAL KRYVYI RIH”.

Е. О. Yevtushenko¹, Н. О. Ahmatova¹, Н. А. Grachov¹, К. V. Lyhoshapko¹

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

Abstract. The plant communities adjacent to the dumps, in contrast to the plant communities of the dumps, are poorly studied from a floristic point of view and require in-depth research to establish the species composition of plants. Such studies will allow us to establish the peculiarities of the taxonomic composition of plant communities formed between dumps and agricultural areas. We conducted a study of the taxonomic composition of plant communities in the area affected by the “2-3” OF PJSC “ARCELORMITTAL KRYVYI RIH” near the village of Stepove. The species composition was determined at 42 sample plots around the dump. It was found that the current species composition of plant communities in the 2-3 dump area consists of 97 species of angiosperms from

36 families. The plant communities include 28 species of trees and shrubs belonging to 16 families. The Red Data Book of Ukraine includes the following species: *Morchella steppicola* Zerova, *Muscari neglectum* Guss. Ex Ten., *Stipa capillata* L., *Amygdalus nana* L., *Thymus dimorphus* Klokov et Des-Schost.. The Regional List of Protected Plants of Dnipropetrovska oblast includes 3 species – *Amygdalus nana* L., *Thymus dimorphus* Klokov et Des-Schost. *Muscari neglectum* Guss. Ex Ten. Thus, the flora of the waste heap impact zone formed as a result of the processes of self-overgrowth has signs of steppe and is represented mainly by wild species of the steppe florocoenotype.

Keywords: dump, dump flora, taxonomic spectrum.

Вступ. В специфічних умовах техногенно зміненого середовища, які формуються на територіях з трансформованими ґрунтами, мікрокліматом, відбуваються складні процеси утворення рослинних угруповань з таксономічним та екоморфічним складом, що відрізняється від прилеглих територій. Це зумовлено складністю мікрорельєфу, розвитком вітрової та водної ерозії, гравітаційними процесами, ущільненням субстратів відвалів різного гранулометричного складу, перемішуванням різних гірських порід в процесі відсіпки, значними коливанням температур та вологості повітря як на поверхні так і над субстратами. Важливим є розуміння відвалів як позитивних форм рельєфу, які є факторами-регуляторами надходження сонячної енергії, вологи на прилеглі до них території. Значна диференціація екологічних умов територій прилеглих до підніжжя відвалу зумовлює необхідність дослідження сучасного видового складу рослинних угруповань.

Мета встановити таксономічний склад рослинних угруповань території в зоні впливу відвалу “2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ”.

Матеріали та методи. Відвал “2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ” згідно з геоботанічним районуванням розташований в межах Апостолівського геоботанічного району Бузько-Дніпровського (Криворізького) геоботанічного округу різнотравно-злакових степів, байрачних лісів та рослинності гранітних відслонень Понтичної степової геоботанічної провінції. Згідно флористичного районування ділянка знаходиться в межах Інгулецько-Базавлуко-Томаківського флористичного підрайону Паннонсько-Причорноморсько-Прикаспійської флористичної області [3, 4].

Територія зони впливу відвалу належить до трав'яних біотопів. Ця група включає наземні континентальні біотопи, що можуть мати різне зволоження, але не залиті водою більшу частину року, мають загальне проективне покриття дерев та кущів не більше 20%. Домінантами в угрупованнях виступають переважно злаки або інші види трав'яних рослин, які мають загальне проективне покриття понад 30%. Можуть мати як первинне, так і вторинне походження.

До цієї групи не входять надмірно трансформовані внаслідок господарської діяльності (синантропні) біотопи, а також штучні насадження трав'яних рослин. Провідними факторами диференціації трав'яних біотопів виступають вологість та сольовий режим ґрунту, окремі типи виділяються також за висотою над рівнем моря (альпійські та субальпійські луки). До цього типу належать також трав'яні узлісся і галявини, а також трав'яні біотопи, що формуються на ґрунтах з підвищеним вмістом солей

На диференціацію трав'яних біотопів, особливо мезофітних, суттєво впливає режим їхнього використання у якості сінокосів або пасовищ.

Відвал “2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ” належить до щербенистих відвалів, частково перекритих пухкими, розкритими породами, є не діючим і знаходиться в південній частині Криворіжжя поблизу с. Степове та Рахманівка [2] (Рис.1).

Дослідження рослинності території зони впливу відвалу здійснювали загально-



Рис. 1: Розташування відвалу“2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТТАЛ КРИВИЙ РІГ”

Figure 1. Location of the 2-3 dump at PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rih

прийнятими методами геоботанічних досліджень. Основними типами геоботанічних досліджень були маршрутний (рекогносцирувальний і детально-маршрутний) і стаціонарний. Закладували пробні площі для геоботанічного опису в однорідних (гомогенних) ділянках рослинності, відмічених в ході рекогносцирувального дослідження: відмінні окомірно варіанти сухих і вологих рослинних угруповань, рудеральні угруповання та інші. Використовували для описів пробні площі для трав'янистої рослинності – 10x10 м.

В межах пробних площ визначався видовий склад рослин та їх якісний стан. Визначення рослин здійснювали за визначником вищих рослин України (1987) з використанням довідкових видань [10], флора Дніпропетровської та Запорізької областей [8, 10]. Трав'янисті рослини характеризували за наявністю в Червоній книзі України та регіональному списку охорони [7, 9]. Дослідження флори території здійснювали впродовж вегетаційного сезону 2024 року. Ранньовесняні рослини досліджувалися у

квітні-травні 2024 р. Склад рослинних угруповань в червні-серпні 2024 р.

Здійснено опис рослинних угруповань на 42 пробних площадках, які були закладені в межах території впливу відвалу “2-3” (Рис.2).



Рис. 2: Пробні площадки в зоні впливу відвалу “2-3” ПАТ “АРСЕЛОРМІТ-ТАЛ КРИВИЙ РІГ”

Figure 2. Test sites in the area of influence of the 2-3 dump of PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rih

Ширина смуги між підніжжям відвалу і культивованою рослинністю становить від 2 до 10 м на півдні і півночі до 50 на сході і 100-150 м на заході. Пробні площадки закладені між відвалом і землями сільськогосподарського використання в основних біотопах, які відображають всю сукупність природно-кліматичних і ґрунтових відмін та дають можливість з'ясувати сучасний стан флори і рослинності території впливу відвалів.

Біотопи зони функціонування відвалів знаходяться у степовій зоні – основний тип степів, поширений на плакорах та схилах різних форм рель'єфу – балок, долин, ярів, що формують зональні риси степової рослинності. Ґрунти – різні види чорноземів, а також каштанові та дерново-карбонатні ґрунти, що мають максимальну потужність до 75 см, а іноді змиті; вміст гумусу > 3%. Реакція близька до нейтральної (рН 6,9–7,2). Інколи на поверхню виходять леси, відслонення вапняків чи гранітів.

Згідно з національним каталогом біотопів територія зони впливу відвалів належить до Т1 Сухі трав'яні біотопи, Т1.4 Справжні різнотравно-типчаково-ковилкові та типчаково-ковилкові степи та підтипу Т1.4.а: Справжні різнотравно-типчаково-ковилкові та типчаково-ковилкові степи степової зони [5]. Характерними видами цих біотопів є: вищі судинні рослини – Житняк гребінчастий (*Agropyron pectinatum*), Полін австрійський (*Artemisia austriaca*), Астрагали (*Astragalus austriacus*, *A. onobrychis*, *A. ucrainicus*), Карагана (*Caragana frutex*), Ефедра (*Ephedra distachya*), Молочай

(*Euphorbia leptocaula*, *E. seguieriana*, *E. stepposa*), Костриця (*Festuca valesiaca*), Кри-
нітарія (*Galatella villosa*), Кермек (*Goniolimon tataricum*), Півники низенькі (*Iris
pumila*), Юрінея (*Jurinea arachnoidea*), Кохія (*Kochia prostrata*), Шандра (*Marrubi-
um praecox*), Залізник (*Phlomis pungens*), Тонконіг (*Poa bulbosa*), Шавлія (*Salvia
nemorosa*, *S. nutans*), Жабриця (*Seseli tortuosum*), Чистець (*Stachys recta*), Ковила
(*Stipa capillata*, *S. lessingiana*, *S. ucrainica*), Пижмо (*Tanacetum millefolium*). Домі-
нанти чагарникового ярусу – Мигдаль (*Amygdalus nana*), Карагана (*Caragana frutex*,
C. mollis, *C. scythica*), Зіновать (*Chamaecytisus ruthenicus*, *Ch. austriacus*). Домінан-
ти трав'яного ярусу – Житняк (*Agropyron pectinatum*), Костриця (*Festuca valesiaca*),
Солонечник (*Galatella villosa*), Тонконіг (*Poa bulbosa*), Ковила (*Stipa brauneri*, *S. capi-
llata*, *S. lessingiana*, *S. ucrainica*), Пижмо (*Tanacetum millefolium*).

Результати Сучасний видовий склад рослинних угруповань в зоні функціонува-
ння відвалу “2-3” складають 97 видів покритонасінних рослин з 36 родин. Найвищий
рівень трапляння мають такі види: Вероніка рання (*Veronica praecox* All., (Ранникові,
Scrophulariaceae)) – 59,52%, Деревій майже звичайний (*Achillea submillefolium* Klokov
et Krytzka, (Айстрові, *Asteraceae*)) – 57,14%, Чина бульбиста (*Lathyrus tuberosus* L.,
(*Fabaceae*, Бобові)) – 47,62%, Пирій повзучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski, (Злакові,
Poaceae)) – 40,48%, Костриця валіська (*Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, (Злакові,
Poaceae)) – 38,09%, Молочай прутівидний (*Euphorbia virgata* Waldst. et Kit., (Моло-
чайні, *Euphorbiaceae*)) – 28,57%, Полин гіркий (*Artemisia absinthium* L., (Айстро-
ві, *Asteraceae*)) – 28,57%. Начисельнішими за кількістю видів є родини: *Asteraceae*,
Rosaceae, *Fabaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae*, *Scrophulariaceae*, *Oleaceae*, *Api-
aceae*, *Euphorbiaceae*, *Aceraceae*, *Boraginaceae*, *Rubiaceae* (Таблиця 1). Спектр провід-
них родин лише частково відповідає зональному [1].

Також, в межах зони впливу відвалу поблизу водойми було зафіксовано гриб
Зморшок степовий (*Morchella steppicola* Zerova, (Зморшкові, *Morchellaceae*)) та ли-
шайник Ксанторія настінна (*Xanthoria parietina*, (Телосхистові, *Teloschistaceae*)), який
оселяється на деревах.

У складі 97 видів покритонасінних рослин виявлено 28 видів дерев і чагарни-
ків, що належать до 16 родин. Чагарники – Смородина золотиста (*Ribes aureum*
Pursh * (* – культивований вид), Агросові (*Grossulariaceae*)), Барвінок малий (*Vi-
nca minor* L., Барвінкові (*Aposynaceae*)), Аморфа кущова (*Amorpha fruticosa* L., Бо-
бові (*Fabaceae*)), Дикий виноград п'ятилисточковий (*Parthenocissus quinquefolia* (L.)
Planch.*, Виноградні (*Vitaceae*)), Свидина кров'яна (*Swida sanguinea* (L.) Opiz, ДЕРЕ-
НОВІ (*Cornaceae*)), Жимолость татарська (*Lonicera tatarica* L. *, Жимолостеві (*Capri-
foliaceae*)), Бирючина звичайна (*Ligustrum vulgare* L., Маслинові (*Oleaceae*)), Бу-
зок звичайний (*Syringa vulgaris* L. *, Маслинові (*Oleaceae*)), Ліцій звичайний (*Lycium
barbarum* L., Пасльонові (*Solanaceae*)), Глід обманливий (*Crataegus fallacina* Klokov,
Розові (*Rosaceae*)), Терен (*Prunus stepposa* Kotov, Розові (*Rosaceae*)), Шипшина со-
бача (*Rosa canina* L., Розові (*Rosaceae*)), Скумпія звичайна (*Cotinus coggygria* Scop.,
Фісташкові (*Anacardiaceae*)). Деревя – Робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L., Бо-
бові (*Fabaceae*)), Дуб звичайний (*Quercus robur* L., Букові (*Fagaceae*)), Тополя чорна
(*Populus nigra* L., Вербові (*Salicaceae*)), В'яз граболистий (*Ulmus minor* Mill., В'язові
(*Ulmaceae*)), Гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L*, Гіркокаштанові (*Hi-
ppocastanaceae*)), Горіх грецький (*Juglans regia* L. *, Горіхові (*Juglandaceae*)), Клен го-
стролистий (*Acer platanoides* L., Кленові (*Aceraceae*)), Клен польовий (*Acer campestre*
L.), Кленові (*Aceraceae*)), Клен татарський (*Acer tataricum* L., Кленові (*Aceraceae*)),
Маслинка вузьколиста (*Elaeagnus angustifolia* L., Маслинкові (*Elaeagnaceae*)),
Ясен звичайний (*Fraxinus exelsior* L., Маслинові (*Oleaceae*)), Ясен ланцетний (*Fraxi-
nus lanceolata* Borkh*, Маслинові (*Oleaceae*)), Вишня антипка (*Cerasus mahaleb* (L.)

Табл. 1: Таксономічний спектр рослинних угруповань зони впливу відвалу “2-3”

Table 1. Taxonomic spectrum of plant communities in the area of influence of the ‘2-3’ waste heap

№	Родини		Кількість			
	Укр.	Лат.	Види		Роди	
			Абс.	%	Абс.	%
1	Айстрові	<i>Asteraceae</i>	17	17,53	15	17,86
2	Розові	<i>Rosaceae</i>	11	11,34	10	11,90
3	Бобові	<i>Fabaceae</i>	7	7,22	7	8,33
4	Губоцвіті	<i>Lamiaceae</i>	7	7,22	6	7,14
5	Злакові	<i>Poaceae</i>	7	7,22	5	5,95
6	Капустяні	<i>Brassicaceae</i>	4	4,12	4	4,76
7	Ранникові	<i>Scrophulariaceae</i>	4	4,12	3	3,57
8	Маслинові	<i>Oleaceae</i>	4	4,12	3	3,57
9	Зонтичні	<i>Apiaceae</i>	3	3,09	3	3,57
10	Молочайні	<i>Euphorbiaceae</i>	3	3,09	1	1,19
11	Кленові	<i>Aceraceae</i>	3	3,09	1	1,19
12	Шорстколисті	<i>Boraginaceae</i>	2	2,06	2	2,38
13	Маренові	<i>Rubiaceae</i>	2	2,06	1	1,19
14	Фісташкові	<i>Anacardiaceae</i>	1	1,03	1	1,19
15	Жимолостеві	<i>Caprifoliaceae</i>	1	1,03	1	1,19
16	Березкові	<i>Convolvulaceae</i>	1	1,03	1	1,19
17	Товстолисті	<i>Crassulaceae</i>	1	1,03	1	1,19
18	Осокові	<i>Cyperaceae</i>	1	1,03	1	1,19
19	Букові	<i>Fagaceae</i>	1	1,03	1	1,19
20	Агрусові	<i>Grossulariaceae</i>	1	1,03	1	1,19
21	Гіркокаштанові	<i>Hippocastanaceae</i>	1	1,03	1	1,19
22	Звіробійні	<i>Hypericaceae</i>	1	1,03	1	1,19
23	Півникові	<i>Iridaceae</i>	1	1,03	1	1,19
24	Горіхові	<i>Juglandaceae</i>	1	1,03	1	1,19
25	Мальвові	<i>Malvaceae</i>	1	1,03	1	1,19
26	Макові	<i>Papaveraceae</i>	1	1,03	1	1,19
27	Подорожникові	<i>Plantaginaceae</i>	1	1,03	1	1,19
28	Гречкові	<i>Polygonaceae</i>	1	1,03	1	1,19
29	Пасльонові	<i>Solanaceae</i>	1	1,03	1	1,19
30	Вербові	<i>Salicaceae</i>	1	1,03	1	1,19
31	Санталові	<i>Santalaceae</i>	1	1,03	1	1,19
32	В'язові	<i>Ulmaceae</i>	1	1,03	1	1,19
33	Виноградні	<i>Vitaceae</i>	1	1,03	1	1,19
34	Барвінкові	<i>Apocynaceae</i>	1	1,03	1	1,19
35	Маслинкові	<i>Elaeagnaceae</i>	1	1,03	1	1,19
36	Деренові	<i>Cornaceae</i>	1	1,03	1	1,19
Всього			97	100	84	100

Mill*, Розові (*Rosaceae*)), Груша звичайна (*Pyrus communis* L., Розові (*Rosaceae*)), Абрикос звичайний (*Armeniaca vulgaris* Lam., Розові (*Rosaceae*)). Слід відзначити, що в північній частині від підніжжя відвалу до залізниці наявна 3-4 річна вирубка деревних насаджень переважно дубових. В межах берм, та на схилах укосів відвалу під час досліджень виявлено 20 видів дерев і чагарників: Маслинка вузьколистостя (*Elaeagnus angustifolia* L., Маслинкові (*Elaeagnaceae*)), Міхурник деревовидний (*Colutea arborescens* L., Бобові, (*Fabaceae*)), Бирючина звичайна (*Ligustrum vulgare* L., Маслинові (*Oleaceae*)), Клен татарський (*Acer tataricum* L., Кленові (*Aceraceae*)), Глід обманливий (*Crataegus fallacina* Klokov, Розові (*Rosaceae*)), Терен (*Prunus stepposa* Kotov, Розові (*Rosaceae*)), Яблуня рання (*Malus praecox* (Pall.) Borkh., Розові (*Rosaceae*)), Робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L., Бобові (*Fabaceae*)), Тополя біла (*Populus alba* L., Вербові (*Salicaceae*)), Скумпія звичайна (*Cotinus coggygria* Scop., Фісташкові (*Anacardiaceae*)), Тополя чорна (*Populus nigra* L., (Вербові, *Salicaceae*)), В'яз граболистий (*Ulmus minor* Mill., В'язові (*Ulmaceae*)), Клен ясенелистий (*Acer negundo* L., Кленові (*Aceraceae*)), Клен гостролистий (*Acer platanoides* L., Кленові (*Aceraceae*)), Горіх грецький (*Juglans regia* L*, Горіхові (*Juglandaceae*)), Вишня антипка (*Cerasus mahaleb* (L.) Mill*, Розові (*Rosaceae*)), Груша звичайна (*Pyrus communis* L., Розові (*Rosaceae*)), Шипшина собача (*Rosa canina* L., Розові (*Rosaceae*)), Абрикос звичайний (*Armeniaca vulgaris* Lam, Розові (*Rosaceae*)), Жимолость татарська (*Lonicera tatarica* L.,* Жимолостеві (*Caprifoliaceae*)). Південна, західна, східна частини відвалу примикають до сільськогосподарських полів і мають відстань від підніжжя до культивованої рослинності від 2-10 м на півдні до 50 на сході і 100-150 м на заході. В межах культурфітоценозів наявні рослин алергени – Амброзія полинолиста. Для зони впливу відвалу фіксується інвазійна рослина – Гринделія розчепірена.

Обговорення

Результати досліджень дозволили встановити, що основу рослинності території зони впливу відвалу “2-3” становлять трав'янисті рослинні асоціації з участю таких видів, що мають найвищі показники проективного покриття:

1. Костриця сиза (*Festuca glauca* Vill.), Шавлія лучна (*Salvia pratensis* L.), Вика мишачий горошок (*Vicia cracca* L.);
2. Жабриця звивиста (*Seseli tortuosum* L.), Деревій майжезвичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka), Буркун білий (*Melilotus albus* Medik.);
3. Пирій повзучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), Деревій майжезвичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka), Полин гіркий (*Artemisia absinthium* L.);
4. Шавлія лучна (*Salvia pratensis* L.), Парило звичайне (*Agrimonia eupatoria* L.), Чистець трансільванський (*Stachys transsilvanica* Schur);
5. Ясен ланцетний (*Fraxinus lanceolata* Borkh*), Робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), Груша звичайна (*Pyrus communis* L.);
6. Жимолость татарська (*Lonicera tatarica* L.*), Стоколос безостий (*Bromopsis inermis*); Робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), Терен (*Prunus stepposa* Kotov);
7. Болиголов плямистий (*Conium maculatum* L.), Деревій майжезвичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka), Жабриця звивиста (*Seseli tortuosum* L.);
8. Деревій майжезвичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka), Чина бульбиста (*Lathyrus tuberosus* L.);

9. Костриця валіська (*Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin), Деревій майже звичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka);
10. Пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), Деревій майжезвичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka), Молочай прутковидний (*Euphorbia virgata* Waldst. et Kit.);
11. Очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg.);
12. Ковила волосиста (*Stipa capillata* L.), Шавлія лучна (*Salvia pratensis* L.), Жабриця звивиста (*Seseli tortuosum* L.);
13. Костриця сиза (*Festuca glauca* Vill., Вероніка рання (*Veronica praecox* All.).

Аналіз рослинних асоціацій території зони впливу відвалу за провідними, по ективному покриттю, видами дозволяє стверджувати про їхню значну різноманітність. Флористичну основу фітоценозів складають Костриця сиза (*Festuca glauca* Vill.), Жабриця звивиста (*Seseli tortuosum* L.), Пірій повзучий (*Elytrigia repens* (L.)), Шавлія лучна (*Salvia pratensis* L.), Ясен ланцетний (*Fraxinus lanceolata* Borkh*), Жимолость татарська (*Lonicera tatarica* L.*), Болиголов плямистий (*Conium maculatum* L.), Деревій майжезвичайний (*Achillea submillefolium* Klokov et Krytzka), Костриця валіська (*Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin), Пижмо звичайне (*Tanacetum vulgare* L.), Очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), Ковила волосиста (*Stipa capillata* L.).

До Червоної книги України належать – Зморшок степовий, Гадюча цибулька занедбана, Ковила волосиста, Мигдаль степовий, Чебрець двовидний. До Регіонального списку охороняємих рослин Дніпропетровської області належить 3 види – Гадюча цибулька занедбана, Чебрець двовидний і Мигдаль степовий (Табл.2).

Табл. 2: Рідкісні та зникаючі види території зони впливу відвалу.

Table 2. Rare and endangered species in the area of the waste heap impact

Назва виду		Статус виду
		ЧКУ статус
Зморшок степовий	<i>Morchella steppicola</i> Zerova.	Рідкісний
Гадюча цибулька занедбана	<i>Muscari neglectum</i> Guss. Ex Ten.	Вразливий
Ковила волосиста	<i>Stipa capillata</i>	Неоцінений
Мигдаль степовий	<i>Amygdalus nana</i> L.	Рідкісний
Чебрець двовидний	<i>Thymus dimorphus</i> Klokov et Des-Schost.	Рідкісний

Висновки В цілому зазначимо, що флора зони впливу відвалу, сформована в результаті процесів самозаростання має ознаки степової і представлена переважно дикоростучими видами степового флороцено типу. До зони впливу відвалу прилеглі ділянки культивованої рослинності представлені агрофітоценозами з участю різних культурних рослин, які мають у своєму складі сегетальні і рудеральні рослини, що також характерно для городів і смітників населених пунктів, розташованих поблизу підніжжя відвалів.

References

1. Burda, R.Y. (1991). *Antropohennaia transformatsiya flory*. Kyiv: Nauk. dumka, 168 p.
2. Denysyk, H.I., Yarkov, S.V., Kazakov, V.L. (2012) Synhenez roslynnoho pokryvu v landshaftakh zon tekhnohenezu Vinnytsia: PP "Edelveis i K", 240 s.
3. Didukh, Ya.P., Sheliah-Sosonko, Yu.R. Neobotanichne raionuvannia Ukrainy ta sumizhnykh terytorii/ *Ukr. botan. zhurn.* 2003. 60.(1). 6-17.
4. Karta rastytelnosti Ukraynskoi SSR / H.Y. Bylyk, Yu.R. Sheliah-Sosonko, T.L. Andryenko, D.Ia. Afanasev, V.V. Oсыchniuk, V.K. Miakushko. Masshtab: 1:1500000. PKO "Kartohrafiya" HUK, 1978.
5. Natsionalnyi kataloh biotopiv Ukrainy (2018). Za red. A.A. Kuzemko, Ya.P. Didukha, V.A. Onyshchenka, Ya. Sheffera. K.: FOP Klymenko Yu.Ia., 442p.
6. Opredelytel vysshykh rastenyi Ukrayny (1987) / D.N. Dobrochaeva, M.Y. Kotov, Yu.N. Prokudyn y dr. Kyiv: Nauk. dumka, 548 p.
7. Ofitsiini pereliky rehionalno ridkisykh roslyn administratyvnykh terytorii Ukrainy (dovidkove vydannia) (2012) _/ Ukladachi: dokt. biol. nauk, prof. T.L. Andriienko, kand. biol. nauk M.M. Perehrym. Kyiv: Alterpres., 148p.
8. Tarasov, V.V. (2005). Flora Dnipropetrovskoi ta Zaporizkoi oblastei. Sudynni roslyny. Dnipropetrovsk: Vyd-vo Dniprop. nats. un-tu, 276p.
9. Chervona knyha Ukrainy. Roslynniyi svit (2009)/ za red. Ya. P. Didukha. K.: Hlobalkonsaltnh, 900p.
10. Mosyakin, S.L. Fedoronchuk, M.M. (1999) Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist Kiev, 346p.

МАКРОФІТИ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ

Т.М. Альохіна¹, Є.С. Гусак¹

¹ Криворізький державний педагогічний університет, Кривий Ріг, Україна

Анотація. Макрофіти мають широкий спектр екологічних ролей та роблять значний внесок у структуру, життєдіяльність та функціонування гідроекосистем, сприяючи підтримці екологічної рівноваги, біорізноманіттю та відповідній якості води. Водні рослини є важливими компонентами біогеохімічних циклів, вони беруть участь у кругообігу поживних речовин, регуляції газообміну та очищенні води. Кореневі системи водних рослин допомагають стабілізувати донний та прибережний ґрунт, тим самим зменшуючи ризик ерозії та замулення річкових русл. Макрофіти є чутливими до змін фізико-хімічних властивостей води, таких як концентрація забруднюючих речовин, вміст кисню, температура та прозорість. Такі біоіндикаційні властивості використовуються для моніторингу екологічного стану річок і прогнозування змін навколишнього середовища. Зміни в структурі угруповань макрофітів можуть свідчити про евтрофікацію водойм, забруднення їх важкими металами чи пестицидами, порушення гідрологічного режиму та про деградацію екосистеми в цілому.

В роботі розглянуто класифікацію водних рослин з урахуванням різних підходів; більш детально з великою кількістю прикладів – за життєвою формою.

Серед багатьох функцій макрофітів в річкових екосистемах автори більш ґрунтовно розглянули роль макрофітів в очищенні вод від поллютантів. Евтрофікація води та забруднення водойм важкими металами є результатом антропогенної діяльності, що ставить під загрозу здоров'я людей, гідробіонтів та цілісність екосистем. Традиційні методи очищення вод переважно дорогі, не завжди безпечні екологічно, малоефективні та займають багато часу. В роботі проаналізовані дослідження щодо здатності макрофітів до зниження концентрацій N та P; особливо важливу роль в цьому процесі відіграють гідатофіти, які здатні до поглинання елементів живлення пагонами.

Фіторемедіація – це сучасна технологія очистки води з використанням різних видів макрофітів, що набула популярності завдяки відкриттю рослин, здатних вилучати надмірні концентрації основних елементів живлення та/або накопичувати важкі метали. Елімінація забруднюючих речовин може відбуватися за різними механізмами (фітоекстракція, фітостимуляція, фітостабілізація, фітовипаровування, фітодеградація), проте головним є факт видалення великої кількості забруднюючих речовин, що призводить до очищення водойми. Фіторемедіація – відносно недорога біотехнологія, що бурхливо розвивається останнім часом. Також у роботі проаналізовано дослідження гідрофітів та гідатофітів на предмет їх здатності вилучати деякі важкі метали та металоїди (Zn, As, Cu, Cd, Cr, Pb і Hg), сприяючи тим самим ревіталізації забруднених річок та навіть техногенних водойм (таких як хвостосховища). Останнє є дуже актуальним для вирішення екологічних проблем гідроекосистеми техногенно навантаженого регіону Кривбасу. Показано, що найважливішою частиною дієвої фіторемедіації є вибір ефективних видів рослин.

Ключові слова: класифікація водних рослин, макрофіти, річкові екосистеми, евтрофікація, забруднення води важкими металами, роль макрофітів в водних екосистемах, фіторемедіація.

MACROPHYTES OF THE RIVERINA ECOSYSTEMS

T. M. Alokina¹, E.S.Gusak¹

¹ *Kryvyi Rih State Pedagogical University, Ukraine.*

Abstract. Macrophytes have a wide range of ecological roles and make a significant contribution to the structure, viability and functioning of hydroecosystems, helping to maintain ecological balance, biodiversity and appropriate water quality. Aquatic plants are important components of biogeochemical cycles; they participate in nutrient cycling, gas exchange regulation and water purification. The root systems of aquatic plants help to stabilize the sediment and coastal soil, thereby reducing the risk of erosion and siltation of riverbed. Macrophytes are sensitive to changes in the physicochemical properties of water, such as the concentration of pollutants, oxygen content, temperature and water purity. Such bioindicative properties are used to monitor the ecological state of rivers and predict environmental changes. Fluctuations in the structure of macrophyte communities can indicate eutrophication of water bodies, their pollution with heavy metals or pesticides, disruption of the hydrological regime and degradation of the ecosystem as a whole.

The paper considers the classification of aquatic plants taking into account different approaches; in more detail, with a large number of examples, by life form.

Among the many functions of macrophytes in river ecosystems, the authors have more thoroughly examined the role of macrophytes in purifying water from pollutants. Eutrophication of water and pollution of water bodies with heavy metals are the result of anthropogenic activity, which threatens the people health, aquatic organisms and

entire ecosystems. Traditional methods of water purification are mostly expensive, not always environmentally safe, inefficient and time-consuming. Phytoremediation is a modern technology for water purification using various types of macrophytes, which has gained popularity due to the discovery of plants capable of removing excessive concentrations of essential nutrients and/or accumulating heavy metals. The elimination of pollutants can occur by various mechanisms (phytoextraction, phytostimulation, phytostabilization, phytoevaporation, phytodegradation), but the main thing is the fact of removing a large number of pollutants, which leads to the purification of the water bodies. Phytoremediation is a relatively inexpensive biotechnology that has been rapidly developing recently.

The paper analyzes studies on the ability of macrophytes to reduce N and P concentrations, with hydatophytes playing a particularly important role in this process, which are capable of enhanced absorption of nutrients by stems. The paper also analyzes studies of hydrophytes and hydatophytes for their ability to remove some heavy metals and metalloids (Zn, As, Cu, Cd, Cr, Pb and Hg), thereby contributing to the revitalization of polluted rivers and even technogenic reservoirs (such as tailings ponds). The latter is very relevant for solving the ecological problems of the hydroecosystem of the technogenically-loaded region of Kryvbas. It is shown that the most important part of active phytoremediation is the selection of effective plant species.

Keywords: classification of aquatic plants, macrophytes, river ecosystems, eutrophication, water pollution by heavy metals, the role of macrophytes in aquatic ecosystems, phytoremediation.

Вступ. Сучасні дослідження визнають принципове значення рослин, що ростуть у водоймах та довкола них у формуванні структури, функціонуванні та життєзабезпеченні водних екосистем (Matthew T. O'Hare et al., 2018). Водні рослини взаємодіють із гідрологічним, геоморфологічним та фізико-хімічним середовищем і безпосередньо впливають на нього, крім цього вони також взаємодіють із іншими організмами, що мешкають у водоймах від мікроорганізмів до хребетних.

Сьогочасний інтерес екологів до макрофітів різко контрастує з поглядами лімнологів століття тому, які вважали водні рослини в основному неважливими компонентами водних екосистем. Так, наприклад, Віктор Шелфорд (Shelford, 1918) стверджував, що “можна, видалити більшість рослин з водойми і замінити їх скляними конструкціями такої ж форми і текстури без значного впливу на безпосередні трофічні ланки”.

Наукові дослідження, які здійснювалися протягом останнього століття, кардинально змінили точку зору на роль водних рослин в екосистемах водойм внаслідок посилення визнання їхньої важливості в фундаментальних екосистемних процесах.

Мета роботи – аналітичний огляд підходів до класифікації водних рослин та сучасні погляди на їхню роль в екосистемах, зокрема в антропогенно навантажених річкових екосистемах; можливість використання макрофітів для фіторемедіації забруднених водойм та водотоків, що базується на їхній здатності до зниження великих концентрацій елементів живлення (N та P), очищення вод та донного осаду від низки важких металів.

Матеріали та методи. Матеріали дослідження базуються на наукових працях закордонних та вітчизняних вчених, які акцентовані на різних аспектах життєдіяльності макрофітів та їхньому значенні для екосистем, зокрема, ревіталізації водойм; розглянуто підходи до класифікації водних рослин.

Водні рослини – це рослини, які мають певні пристосування до існування у водному середовищі. Вони також відомі як макрофіти або “водні макрофіти”. Водні рослини є продуценти водних екосистем. Вони здійснюють трансформацію сонячного

світла і забезпечують життєдіяльність водної екосистеми (Bornette *et al.*, 2009) Так, “водні макрофіти” (Denny, 1985; Pieterse, 1990; Chambers *et al.*, 2008) відносяться до різноманітних груп водних фотосинтезуючих організмів, які мають достатньо великі розміри, щоб їх можна було побачити неозброєним оком. Ця група рослин включає в себе макроводорості відділів *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Xanthophyta* та *Rhodophyta*, мохи *Bryophyta*, папороті *Pteridophyta* і насамкінець насінні рослини *Spermatophyta*, вегетативні частини яких постійно або періодично (щонайменше кілька тижнів на рік) ростуть у воді.

Водні макрофіти можуть мати як гігантські розміри, як, наприклад, Вікторія амазонська (*Victoria amazonica*, Sowerby) з діаметром листа до 2,5 м, так і належати до найдрібніших покритонасінних, крихітної Ольфії безкореневої (*Wolffia arrhiza*, (L.) Horkel ex Wimm.) з діаметром листа менше 0,5 мм.

Відомо величезне різноманіття водних рослин, які мають певні особливості та відмінності, в залежності від умов, в яких вони зростають. Проте деякі риси макрофітів є доволі універсальними. Так, наприклад, багато макрофітів витрачають меншу кількість ресурсів для підтримки листа та стебла, оскільки вони природним чином підтримуються водою. Деякі водні рослини не мають ксилеми для транспортування води, оскільки їхні тіла занурені у воду. Водні рослини залишаються зеленими протягом року і не скидають листя, оскільки мають достатній запас поживних речовин і води.

Класифікація макрофітів та їхні анатомо-морфологічні особливості. Класифікація макрофітів може здійснюватися за різними підходами, а саме: за життєвою формою (Chambers *et al.*, 2008), за екологічною амплітудою (Holub, 1998), за індикаторною роллю (Pohorelova, 2021) тощо.

До водних макрофітів належать (Chambers *et al.*, 2008; Nejny 1971): “напівзанурені макрофіти” – рослини, які вкорінюються в постійно або періодично затоплювані ґрунти, з листям, що розташовується над водою; “плаваючі макрофіти” – рослини, що вкорінюються до дна водойми та мають листя, що плаває на поверхні води; “занурені макрофіти” – рослини, які повністю занурені під воду, з коренями або кореневими аналогами, прикріпленими до субстрату дна; “вільноплаваючі макрофіти” – рослини, які зазвичай плавають на поверхні або під поверхнею води. Вони мають широке листя та стебла, які прикріплюються до сусідніх рослин, створюючи щільну мережу вільно плаваючих рослин. Вільноплаваючі макрофіти не прикріплені до дна водойми, в якому вони ростуть, і тому легко переносяться вітром і хвилями. Приклади вільно плаваючих водних рослин включають рослини роду *Pistia*.

Класифікація життєвих форм водних рослин, що розроблялася вченими вітчизняної ботанічної школи (Dubina, 2006) також побудована на ознаках морфологічної різноманітності органів, що формувалися під впливом типів водойм з різним гідрологічним режимом або умовами зволоження прибережних ділянок суші (Mosyakin *et al.*, 1999; Dubina, 2006; Yakubenko *et al.*, 2011). Проте, дані дослідження базувалися на більш ранніх методичних підходах, що були запропоновані в 70-х роках ХХ століття Гайнцем Елленбергом (Ellenberg, 1974) згідно яких, біоморфи водних рослин класифікують на гідроморфи, гідрогеломорфи, геломорфи, гігроморфи та гідромезоморфи. Кожна з цих груп своєю чергою поділяється на певні категорії.

Так, гідроморфні водні рослини (синоніми: занурені макрофіти, гідатофіти, submerged plants) – це рослини, які цілком або більшою частиною занурені у воду, їх генеративні органи піднімаються над поверхнею води під час цвітіння. Продихи на листках даних рослин редуковані, транспірація відсутня, зайва вода видаляється через гідатоди. Дана біоморфа своєю чергою поділяються на *eugidatofitini* (представниками є види родів *Najas*, *Zannichellia*, *Ruppia*, *Zostera*; види *Potamogeton pectinatus*

(L.) B erner, *P. lucens* L., *P. perfoliatus* L.), *аерозідатофіти* (види родів *Nymphaea*, *Nymphoides*, *Nelumbo*, *Trapa*; види *Polygonum amphibium* L., *Potamogeton natans* L.) та *плеїстофіти* (Hartog et al., 1964) (представники: роди *Salvinia*, *Azolla*; види *Lemna minor* L., *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleid.).

Гідрогеломорфні макрофіти (синоніми: напівзанурені, гідрофіти, emergent plants) – це рослини, які частково занурені у воду, вони поділяються на *теганофіти* (представник: *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult.), *плеїстогелофіти* (представники: *Cicuta virosa* L., *Call palustris* L., *Menyanthes trifoliata* L., *Carex pseudocyperus* L.), *гідроохтофіти* (види роду *Alisma*; види *Oenanthe aquatic* (L.) Poir., *Scirpus radicans* Schkuhr., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Glyceria fluitans* (L.) R.Br.), *охтогідрофіти* (представники: *Typha angustifolia* L., *T. latifolia* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Scirpus lacustris* (L.) Palla, *Acorus calamus* L.).

Геломорфні водні рослини (синонім – узбережні рослини) – це рослини, життєвий цикл яких пов’язаний із узбережною та болотною екофазами. Представники цієї групи – рослини з добре розвинутою кореневою системою (дернинною чи кореневищною), місцезростанням яких є евліторальна зона. Геломорфи поділяються на *евохтофіти* (представники – *Carex acuta* L., *C. vesicaria* L., *C. riparia* Curyis та *улігінозофіти* (представники – *Euphorbia palustris* L., *Sium latifolium* L., *Lysimachia vulgaris* L., *Lythrum salicaria* L.).

Гігроморфні макрофіти, або тріхогідрофіти (синонім – рослини зволожуваних земель, тимчасово затоплюваних земель) – це рослини, більша частина вегетативного періоду яких проходить у болотній та наземній екофазах. Такі рослини здатні розвиватися в умовах короткочасного затоплення та повного висихання екотопів; після висихання поверхневого шару ґрунту у таких рослин інтенсивно розвивається коренева система із утворенням столонів. До представників цієї групи рослин належать: *Potentilla anserina* L., *Ranunculus repens* L., *Agrostis gigantea* Roth.

Гідромезоморфи (синонім: болотні рослини) – це рослини, які зростають на перезволожених ділянках ґрунтів. У гідрофазі рослини знаходяться у стані насіння. Розвиваються зазвичай на ділянках після оголення ґрунтів, пов’язаних зі зниженням ґрунтових вод (*пелохтофіти*) або можуть зростати в умовах прибережної екофази (*пелохтотерофіти*). Представниками пелохтофітів є *Eleocharis ovata* L., *Carex bohemica* L., *Coleanthus subtilis* L. До представників пелохтотерофітів належать: *Bidens tripartita* L., *B. Radiata* Tuill., *Polygonum lapathifolium* (L.) Delarbre, *Rumex maritimus* L.

За екологічною амплітудою макрофіти поділяються (Holub, 1998) на:

Види з широкою екологічною амплітудою, які можуть існувати в різноманітних умовах;

Види з середньою екологічною амплітудою, що пристосовані до певного діапазону умов.

Види з вузькою екологічною амплітудою: вимогливі до специфічних умов середовища.

За індикаторною роллю водні рослини поділяють (Pohorelova, 2021) на:

Індикатори низького вмісту біогенів: види, що свідчать про оліготрофні умови в водоймі.

Індикатори антропогенного евтрофування: види, що вказують на підвищений вміст біогенних елементів через антропогенний вплив.

Функції макрофітів в річкових екосистемах.

Водні макрофіти відіграють надзвичайно важливу роль у формуванні і функціонуванні водних екосистем: впливають на зміну режиму руху води (швидкості течії, сили хвиль); формують екологічні ніші для різних таксонів водної фауни; слугу-

ють джерелом їжі; сприяють очищенню вод та осадженню і трансформації осаду (Chambers *et al.*, 1994; Sand-Jensen 1998; Chambers *et al.*, 1999). Вони забезпечують структурно складне середовище в просторових масштабах від міліметрів (Dibble *et al.*, 2006) до сотень метрів (Dibble *et al.*, 1996; Rennie *et al.*, 2005). Така структурованість водного середовища може збільшувати кількість та тип екологічних ніш. Унаслідок цього простір водного середовища із скупченням макрофітів стає найбільш диверсифікованим та продуктивним місцем у водоймах.

Швидкість течії, доступність світла та поживних речовин, а також конкуренція з іншими видами макрофітів або водоростями є найважливішими факторами для поширення та сезонного розвитку річкових гідатофітів (Fisher *et al.*, 1976; Franklin *et al.*, 2008; Madsen *et al.*, 2001; Riis *et al.*, 2003). Швидкість течії впливає на макрофіти не тільки безпосередньо через механічну деформацію (напруга зсуву), але також через непрямі, каскадні ефекти, що обумовлюють доступність поживних речовин (Franklin *et al.*, 2008). У свою чергу макрофіти можна розглядати як “інженерів екосистем”, які змінюють структуру та функціонування річкових екосистем (Jones *et al.*, 1994; Schoelynck *et al.*, 2012), одночасно покращуючи доступність власних ресурсів. Наприклад, у межах макрофітних ділянок швидкість течії значно зменшується порівняно з немакрофітними ділянками (Clarke, 2002). Це зменшення швидкості течії збільшує захоплення та осадження органічних і неорганічних частинок, що призводить до короткочасної зміни умов у річці та довгострокового покращення доступності поживних речовин (Madsen *et al.*, 2001). Зменшення потоку в ділянках заростей макрофітів сприяє подовженню часу перебування речовин для хімічних і біологічних процесів. Це включає в себе асиміляцію та дихання макрофітів, а також сприяє симбіотичним контактам між спільнотами макрофітів з епіфітними водоростями, грибами і бактеріями. Таким чином, швидкість метаболізму є вищою в макрофітних ділянках, ніж у суміжних ділянках. (O'Brien *et al.*, 2014; Preiner *et al.*, 2020).

Завдяки своїм кореневим системам макрофіти зміцнюють ділянки узбережних схилів, закріплюють донні відклади, зменшуючи ерозію та замулення водойм. Макрофіти підтримують розвиток епіфітних водоростей та тварин, а також забезпечують середовище проживання для різноманітних рухливих організмів, таких як зоопланктон, макрофауна та риби (Albertoni *et al.*, 2007).

Роль макрофітів в очищенні вод. Сьогодні однією з найбільш чутливих та затребуваних властивостей водних макрофітів (особливо гідатофітів) є їхня роль у зниженні концентрації різних хімічних сполук та елементів у воді, зокрема, фосфору (Engelhardt *et al.*, 2001). В останні десятиріччя евтрофікація є однією з найбільших екологічних проблем водних екосистем у всьому світі і водні макрофіти можуть виявитися “інженерами-біологами”, що здатні допомогти у відновленні якості води (Byers *et al.*, 2006). Використання деяких видів макрофітів у фіторе mediaції може стати ефективною альтернативою для очищення побутових, а також промислових стоків.

Макрофіти можуть засвоювати азот і фосфор як з водної товщі через своє листя, так і з донних осадків водойм через своє коріння. У низці досліджень порівнювалась відносна можливість цих двох шляхів поглинання поживних речовин (Chambers *et al.*, 1989; Madsen *et al.*, 2002). Так, було зазначено, що шлях поглинання основних елементів живлення сильно залежать від наявності їх у воді, характеристик донного осаду, гідродинаміки водойми та фізіології рослин. Припускається, що автотрофи лотичних водойм мають спорідненість до нітратів (NO_3^-), переважно використовуючи їх як джерело азоту (Hall *et al.*, 2003), і навіть можуть створювати добові варіації концентрації NO_3^- у джерелах, де домінують макрофіти (Heffernan *et al.*, 2010; Roberts *et al.*, 2007). Було проведено багато досліджень, щоб визначити поглинання

поживних речовин у невеликих річках (Newbold *et al.*, 1981). Як резюмували Інсайд і Дойл (Ensign *et al.*, 2006), 69% усіх досліджень проводилися в потоках першого та другого порядку. Вони знайшли переконливі докази того, що показники поглинання можуть відрізнятися вздовж градієнта від першого до п'ятого порядку, і підкреслили важливість великих річок у загальній динаміці поживних речовин водної мережі. (Preiner *et al.*, 2020).

Азот (N) і фосфор (P) є основними елементами мінерального живлення для організмів (Liu *et al.*, 2013; Xu *et al.*, 2019). Однак високі концентрації поживних речовин антропогенного походження, зокрема, N і P у мілководних водоймах, особливо лентичних, можуть призвести до зміни стану водойми від чистого до каламутного: цей зсув спричиняє подальше руйнування водних середовищ існування та зменшення біорізноманіття (Scheffer *et al.*, 1993; Xu *et al.*, 2019). Природні мікроорганізми можуть поглинати поживні речовини (Sepehri *et al.*, 2018), але їх недостатньо, щоб контролювати надлишок поживних речовин без додаткового втручання. Пересадка гідатофітів для відновлення якості води та покращення екологічних функцій є корисною стратегією для водосховищ чи озер, які пройшли через процеси евтрофікації (Coops *et al.*, 1996; Lau *et al.*, 2002; Ciurli *et al.*, 2009).

Фіторемедіація відіграє фундаментальну роль в очищенні води завдяки конкуренції з мікрободоростями за поживні речовини, що призводить до контролю за надмірним розвитком фітопланктону та запобіганню повторному суспендуванню донних осадів (Lau *et al.*, 2002). Отже, екологічне відновлення евтрофних водойм за допомогою гідатофітів є економічно ефективною, екологічно чистою та стабільною технологією в усьому світі.

Гідатофіти можуть переносити певний надлишок елементів мінерального живлення у воді (Zhou *et al.*, 2017). Вони часто займають мозаїчні ніші в річкових екосистемах, оскільки доступні поживні речовини просторово-часово неоднорідні в природних середовищах існування навіть у невеликих масштабах. Наприклад, високий вміст поживних речовин може значно вплинути на ріст гідатофітів і зменшити їх щільність (Cai *et al.*, 2012; Zhou *et al.*, 2017).

Дослідження озер в Данії показало (Sondergaard *et al.*, 2008), що щільність гідатофітів збільшувалася за рахунок зменшення навантаження поживними речовинами. За довготривалий період досліджень рослинності було відзначено тенденцію поступового її зменшення разом із зниженням евтрофності.

Фізіологічні характеристики гідатофітів, такі як швидкість фотосинтезу, активність ферментів та екологічна стехіометрія, можуть зазнавати значного впливу концентрацій поживних речовин. Ці спостереження пояснюють значні екофізіологічні наслідки зміни концентрації поживних речовин для занурених макрофітів. Однак джерела елементів живлення для гідатофітів у різних трофічних станах остаточно не з'ясовані. Кореневе живлення є домінуючим шляхом для отримання поживних речовин із донних відкладень у цілому (Carignan *et al.*, 1980; Crossley *et al.*, 2002;). Однак у ситуаціях, коли вода багата на поживні речовини, амонійний нітроген в першу чергу поглинається пагонами макрофітів, а не їх корінням; як наслідок – ріст рослин є чутливим до концентрації азоту у воді, враховуючи, що концентрація амоніаку у донних відкладеннях загалом висока (Sepehri *et al.*, 2018). Так, дослідження показали, що такий гідатофіт як *Potamogeton crispus* може поглинати поживні речовини пагонами (Zhou *et al.*, 2017). Ці спостереження, імовірно, відображають відмінності у відносній важливості використання поживних речовин корінням і пагонами в різних трофічних станах. Проте кількісне визначення відносного внеску водного та донного амоніаку у забезпеченні рослин азотом ще недостатньо вивчено (Carignan *et al.*, 1980).

Новітні дослідження водних макрофітів зосереджені на їхній здатності очищати воду. Рдесник кучерявий (*Potamogeton crispus*) – широко розповсюджена в мілководних прісноводних водоймах рослина, яка часто використовується як індикатор якості води завдяки своїй потужній очисній здатності. В модельному дослідженні, представленому китайськими вченими, було проаналізовано шляхи поглинання нітрогену *Potamogeton crispus* за різних концентрацій у воді та донному ґрунті. Рослини були поміщені у два паралельні мезокосми, у яких вивчали динаміку поглинання поживних речовин з товщі води та з осаду. Одночасно спостерігали фізіологічні та стехіометричні параметри *P. crispus* для моніторингу стану його росту. У цьому дослідженні показана важлива роль пагонів у прямому поглинанні елементів живлення із води (Xu *et al.*, 2019).

Перспективи використання макрофітів для очищення річок. Через глобальне потепління, швидку урбанізацію, екстенсивне сільськогосподарське виробництво та необмежену експлуатацію ресурсів нестача води відчувається приблизно 40% людей у всьому світі (Calzadilla *et al.*, 2010; Connell, 2018). Забруднення води у природних річкових екосистемах підсилює обмеження постачання прісної води. Забруднення річкових вод органічними та неорганічними хімічними забруднювачами є серйозною проблемою сьогодення (CDC, 2016; Ebere-Enyoh *et al.*, 2018). Забруднення річок, подекуди до рівня деградації водних екосистем, є серйозною та глобальною проблемою, яка наразі не регулюється через недостатність знань та свідомості, низьку економічну спроможність низки держав, а також невиконання екологічних законів та правил.

До категорії поширених та найбільш небезпечних полютантів водних екосистем належать, крім іншого, важкі метали, які викликають серйозні проблеми із здоров'ям у людей (потрапляючи до людських організмів із недоочищеною питною водою) і різноманітних гідробіонтів.

Методи видалення важких металів із водних об'єктів, що включають електродіаліз, коагуляцію/флокуляцію, десорбцію та випаровування розчинника, є дорогими та, як правило, екологічно не вигідними (Levchuk *et al.*, 2018). Такі процеси очищення вимагають значних фінансових інвестицій та водночас створюють проблему складування мулу (Grandelement *et al.*, 2017). Найбільш перспективною стратегією поліпшення забруднених вод вважають фіторе mediaцію (Saha *et al.*, 2022; Eid, *et al.*, 2020).

На сьогоднішній день науковцями напрацьовано багато матеріалу щодо використання різних типів макрофітів для очистки стічних вод, вод хвостосховищ, шламосховищ від важких металів. Здатність деяких макрофітів знижувати концентрацію різних важких металів та інших токсичних елементів у воді наведена в таблиці 1.

Видобуток корисних копалин негативно позначається на навколишньому середовищі та створює величезне навантаження на місцеве рослинне та тваринне біорізноманіття. Сучасні гірничо-видобувні технології передбачають утворення величезної кількості небезпечних забруднюючих речовин, які зрештою потрапляють у водні екосистеми. Шахтні стоки містять відносно високі концентрації різних забруднень, таких як солі та важкі метали. Забруднювачі, що надходять з шахтними стоками дуже стійкі, і тому можуть легко накопичуватися у воді та мулі. Також вони мають здатність проникати в продукти харчування через мережу трофічних ланок шляхом поглинання та концентрування продуцентами, тим самим впливаючи на здоров'я людей і тварин.

В світі розробляється велика кількість різноманітних технік та методів для усунення важких металів з шахтних вод або ставків-накопичувачів. Фітолікувальна техніка – це методика, яка продемонструвала вражаючі результати в ефективній ліквідації важких металів, що походять із шахтних стоків за рахунок використання макрофітів

(Mishra *et al.*, 2009).

Табл. 1: Макрофіти, що здатні акумулювати метали та металоїди із води (Saha *et al.*, 2022)

Table 1. Aquatic plants – bioaccumulators of metals and metalloids from water

№	Латинська назва	Українська назва	Метал/ металоїд, що акумулюється
1	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	Кушир занурений	Cd, Cr, As
2	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Ейхорнія найяскравіша	Hg, Cu, Ni, Zn
3	<i>Lemna minor</i> L.	Ряска мала	Cr, Cu, Ni, Pb
4	<i>Mentha aquatica</i> L.	М'ята водяна	Pb, Fe, Cr
5	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	Водопериця колосиста	Cu, Pb, Cd
6	<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	Настурція лікарська	Ni, Cr, Zn
7	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	Очерет звичайний	Pb, Cr, Cu, Zn
8	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Водяний салат	Mn, Cr, Fe, Pb
9	<i>Potamogeton crispus</i> L.	Рдесник кучерявий	Cu, Pb, Zn
10	<i>Potamogeton pectinatus</i> (L.) Böerner	Рдесник гребенястий	Ni, Cu, Mn
11	<i>Salvinia minima</i> Baker	Сальвінія звичайна	Cr, Cd
12	<i>Scirpus</i> sp.	Представники роду Комиш	Al, Cd, Fe
13	<i>Spirodela intermedia</i> Schleid.	Спіродела середня	Cr, Zn, Pb
14	<i>Typha latifolia</i> L.	Рогоз широколистий	Ni, Zn, Mn
15	<i>Vallisneria spiralis</i> L.	Валіснерія спіральна	As

Скидання в річки вод хвостосховищ з великою кількістю важких металів та/або органічних забруднювачів, що складно піддаються біодеструкції, має вкрай негативний вплив на екосистеми. Надлишок важких металів пригнічує ріст коренів рослин і викликає хлороз листя, знижує виробництво біомаси (Jadia *et al.*, 2009).

Протягом останнього десятиліття було проведено велику кількість досліджень для розробки методів рекультивації хвостосховищ, спрямованих на покращення екологічного середовища в районах видобутку та зниження техногенного пресингу на річкові екосистеми. Наразі загальні методи обробки хвостів включають фізичну обробку, хімічну ремедіацію та біоремедіацію.

Порівнюючи з традиційними методами, фіторемедіація як форма біоремедіації поступово привертає увагу, оскільки вона найкраще підходить для рекультивації дифузно забруднених територій за допомогою рослин. Це також дешевий метод. Фіторемедіація проводиться на місці, таким чином зменшуючи ризики забруднення територій у разі транспортування вод хвостосховища (наприклад, каналами чи трубопроводами). В роботі китайських вчених (Wang *et al.*, 2017) обговорюється можливість фіторемедіації шахтних стоків з точки зору таких аспектів: меліорація ґрунту, вибір толерантних видів рослин і роль ґрунтових мікроорганізмів.

Вибір відповідного виду рослин є одним із найважливіших аспектів у процесі фіторемедіації. Відповідні види рослин повинні бути здатні переносити високий рівень важких металів і екстремальні умови донного ґрунту, такі як висока кислотність

або лужність, солоність. Крім того, рослини для фітореMediaції річок, забруднених шахтними стоками чи скидами з хвостосховищ, повинні мати інші специфічні властивості, такі як щільна коренева система, відносно швидкі темпи росту та висока продукція біомаси (Wang *et al.*, 2017).

Макрофіти та пов'язаний з ними мікробіом можуть поглинати, розкласти або іммобілізувати хімічні політанти із забрудненої води та донного ґрунту (Sarathchandra *et al.*, 2023), таким чином покращуючи екологічне середовище порушеної території (Wei *et al.*, 2019; Mani *et al.*, 2013). Важкі метали та органічні забруднювачі є основними цілями для фітореMediaції. Технології фітореMediaції (Alcorta *et al.*, 2004) включають фітоекстракцію, фітостимуляцію, фітостабілізацію, фітовипаровування та фітодеградацію (рис. 1).

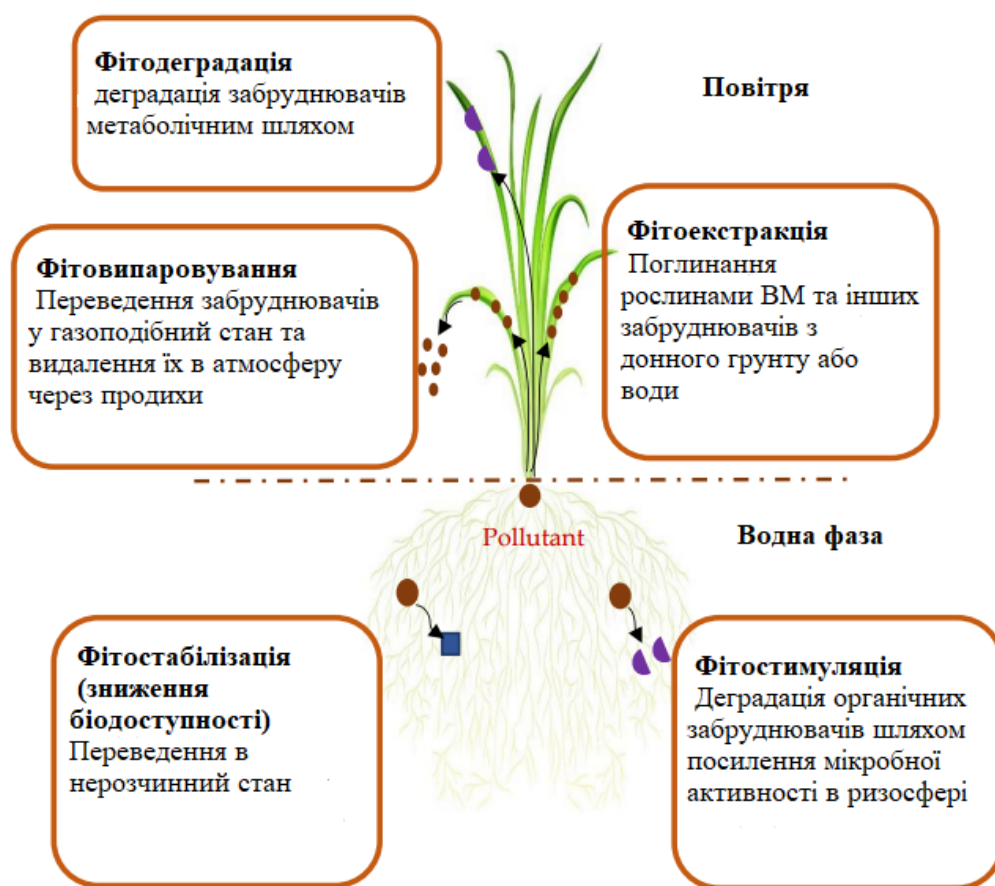


Рис. 1: Шляхи фітореMediaції (Alcorta *et al.*, 2004)

Figure 1. Phytoremediation's paths

Фітоекстракція є найважливішим фітореMediaційним підходом щодо видалення металів (металоїдів) із забруднених ґрунтів, води, донних осадків. Однак успішна фітоекстракції можлива за таких концентрацій забруднюючих речовин, який відповідає екологічним можливостям рослин їх поглинати. З економічної точки зору це менш вигідно, проте успішну фітоекстракцію можна гарантувати усуненням часових обмежень.

Багато факторів впливають на ефективність фітоекстракції, включаючи власти-

вості донного ґрунту, доступність металу для рослин, властивостей самого металу та характеристики фітореemedіаторів (Sarwar *et al.*, 2017).

Таким чином, вид/генотип рослини, вибраний для фітоекстракції, повинен мати наступні характеристики: швидкий ріст, який обумовлює велику біопродуктивність; властивості гіперакумулятору важких металів, що дозволяє переносити метал від кореня до пагона; стійкість до токсичних ефектів важких металів; стійкість до патогенів і шкідників; гарна адаптація до переважаючих кліматичних умов регіону вирощування; відсутність привабливості для трав'яїдних тварин, щоб уникнути потрапляння металу в харчовий ланцюг (Sarwar *et al.*, 2017; Shabani *et al.*, 2012).

Концентрація металу у пагонах і біомаса пагонів в основному визначають відповідний вид рослин для фітоекстракції металів. Залежно від цих параметрів розрізняються дві категорії рослин: рослини-гіперакумулятори з відносно низькою біомасою пагонів і рослини з меншою здатністю накопичувати важкі метали, але з більшою біомасою пагонів (Ali *et al.*, 2013). Варто зазначити, що транслокація металу до пагонів є вирішальним біохімічним і фізіологічним процесом, тому що збір кореневої біомаси, як правило, неможливий (Ali *et al.*, 2013).

Фітостабілізація – це метод переведення водорозчинних сполук у нерозчинний стан за допомогою рослин, що дозволяє зменшувати біодоступність/мобільність забруднювачів і, таким чином, запобігати передачі хімічних елементів у харчовий ланцюг (El Berkaoui *et al.*, 2022). Механізми фітостабілізації включають в себе адсорбцію коренями, преципітацію та комплексоутворення в зоні кореня. Метали зі змінною валентністю демонструють високі рівні токсичності. Рослини можуть переводити ці небезпечні метали у менш токсичний стан шляхом виділення ферментів-оксидоредуктаз (Berkaoui *et al.*, 2022). Фітостабілізація дозволяє накопичувати важкі метали у рослинах та знижує їх концентрацію у воді. Однак ця методика не є досконалим рішенням, оскільки важкі метали залишаються в донному ґрунті; обмежується лише їхній рух.

Розглянуті підходи до використання макрофітів з метою очищення води і донного ґрунту річок, а також узбережних територій чи інших перезволожених ділянок суші дуже актуальні для гірничо-видобувної агломерації Кривбасу, водні екосистеми якої трансформовані та частково деградовані. Представлений аналіз відкриває науковцям-екологам шляхи пошуку доступних та оптимальних рішень з фітореemedіації забруднених річок Криворіжжя.

Висновки. Науковий інтерес до водних рослин, від їх використання у якості модельних об'єктів до системо утворюючих компонентів в екосистемах, ілюструє глобальну актуальність досліджень макрофітів на початку двадцять першого століття.

Зміни клімату, зростання попиту на ресурси, включаючи воду, забруднення прісної води, поширення інвазійних видів, зміни та інтенсифікація землекористування разом із деградацією, фрагментацією та втратою водних біоценозів є величезною проблемою збереження та управління водними рослинами та екосистемами, в яких вони зростають.

Доведена роль макрофітів в покращенні стану води водойм відкриває нові перспективи їх широкого використання у різноманітних фітореemedіаційних технологіях.

References

1. Albertoni, E. F., Prellvitz, L. J., Palma-Silva, C. (2007). Macro-invertebrate fauna associated with *Pistia stratiotes* and *Nymphoides indica* in subtropical lakes (South Brazil). *Brazilian Journal of Biology*, 67(3), 499-507. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842007000300015>
2. Ali, H., Khan, E., Sajad, M.A. (2013). Phytoremediation of heavy metals – Concepts

- and applications. *Chemosphere*, 91, 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
3. Alkorta, I., Hernández-Allica, J., Becerril, J.M., Amezcaga, I., Albizu, I., Garbisu, C. (2004) Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 3, 71–900. <https://doi.org/10.1023/B:RESB.0000040059.70899.3d>
 4. Bornette, G., Puijalon, S. (2009). Macrophytes: Ecology of Aquatic Plants. In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS). John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020475>
 5. Byers, E. J., Cuddington, K., Jones, C. G., Talley, T. S., Hastings, A., Lambrinos, J. G., Crooks J. A., Wilson, W. G. (2006). Using ecosystem engineers to restore ecological systems. *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 493–500. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.06.002>
 6. Cai, X.L., Gao, G., Tang, X., Dai, G. (2012). Photosynthetic response of *Vallisneria natans* (Lour.) Hara (Hydrocharitaceae) to increasing nutrient loadings. *Photosynthetica*, 50(3) <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-012-0046-2>
 7. Calzadilla, A., Rehdanz, K., Tol, R. S. (2010). Water scarcity and the impact of improved irrigation computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, 42(3), 305–323. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2010.00516.x>.
 8. Carignan, R., Kalff, G., (1980). Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments? *Science*, 207 (4434), 987–989. <https://doi.org/10.1126/science.207.4434.987>
 9. CDC. (2016). Global WASH Fast Facts. Global Water, Sanitation and Hygiene (WASH). https://www.cdc.gov/healthywater/global/wash_statistics.html Accessed 26/02/2022.
 10. Chambers, P.A., Prepas, E.E., Bothwell, M.L., Hamilton H.R. (1989). Roots versus shoots in nutrient uptake by aquatic macrophytes in flowing waters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46 (1989), 435–439. <https://doi.org/10.1139/f89-058>
 11. Chambers, P. A., Prepas, E. E. (1994). Nutrient dynamics in riverbeds: the impact of sewage effluent and aquatic macrophytes. *Water Research*, 28, 453–464. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90283-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90283-6)
 12. Chambers, P. A., DeWreede, R. E., Irlandi, E. A., Vandermeulen, H. (1999). Management issues in aquatic macrophyte ecology: a Canadian perspective. *Canadian Journal of Botany*, 77, 471–487. <http://dx.doi.org/10.1139/b99-092>
 13. Chambers, P., Lacoul, P., Murphy, K.J., Thomaz, S.M. (2008). Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 9 – 26.
 14. Ciurli, A., Zuccarini, P., Alpi, A. (2009). Growth and nutrient absorption of two submerged aquatic macrophytes in mesocosms, for reinsertion in a eutrophicated shallow lake. *Wetlands Ecology and Management*, 17(2):107–115. <http://dx.doi.org/10.1007/s11273-008-9091-9>

15. Clarke, S.J. (2002). Vegetation growth in rivers: influences upon sediment and nutrient dynamics. *Progress in Physical Geography*, 26, 159–172. <https://doi.org/10.1191/0309133302pp324ra>
16. Connell, D. W. (2018). *Pollution in Tropical Aquatic Systems* (1st ed.). CRC Press.
17. Coops, H. (1996). Submerged vegetation development in two shallow, eutrophic lakes. *Hydrobiologia*, 340, 115–120. <https://doi.org/10.1007/BF00012742>
18. Crossley, M. N., Dennison, W.C., Williams, R.R., Wearing A.H. (2002). The interaction of water flow and nutrients on aquatic plant growth. *Hydrobiologia*, 489, 63–70. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1023298302557>
19. Denny, P. (1985). *The Ecology and Management of African Wetland Vegetation*. W. Junk, The Hague.
20. Dibble, E. D., Killgore, K. J., Harrel, S. L. (1996). Assessment of fish-plant interactions. In Miranda L. E. & D. R. DeVries (eds), *Multidimensional approaches to reservoir fisheries management*. American Fisheries Society, Symposium 16, Bethesda, Maryland, 357–372.
21. Dibble, E. D., Thomaz, S. M., Padial, A. A. (2006). Spatial complexity measured at a multi-scale in three aquatic plant species. *Journal of Freshwater Ecology*, 21, 239–247. <https://doi.org/10.1080/02705060.2006.9664992>
22. Dubina, D.V. (2006) Higher Aquatic Vegetation. Vegetation of Ukraine. Ed. by Yu.R. Shelyag-Sosonko. Kyiv, Fitosotsiotsentr (in Ukrainian).
23. Ebere-Enyoh, C., Verla, A. W., Egejuru, J. N. (2018). pH Variations and Chemometric Assessment of Borehole Water in Orji, Owerri Imo State, Nigeria. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 5. <https://doi.org/10.4172/2380-2391.1000238>
24. Eid, M.E., Gala, T.M., Sewelam, N.A., Talha, N.I., Abdallah, S.M. (2020). Phytoremediation of heavy metals by four aquatic macrophytes and their potential use as a contamination indicator: A comparative assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 12138–12151. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07839-9>.
25. El Berkaoui, M., El Adnani, M., Hakkou, R., Ouhammou, A., Bendaou, N., Smouni, A. (2022). Assessment of the transfer of trace metals to spontaneous plants on abandoned pyrrhotite mine: Potential application for phytostabilisation of phosphate wastes. *Plants*, 11, 179. <https://doi.org/10.3390/plants11020179>
26. Ellenberg, H. (1974). Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas (Indicator values of vascular plants in Central Europe). *Scripta Geobotanica*, 9, 1–97
27. Engelhardt, K. A., Ritchie, M. E. (2001). Effects of macrophyte species richness on wetland ecosystem functioning and services. *Nature*, 411, 687–689. <https://doi.org/10.1038/35079573>
28. Ensign, S.H., Doyle, M.W. (2006). Nutrient spiralling in streams and river networks. *Journal of Geophysical Research*, 111. <https://doi.org/10.1029/2005JG000114>
29. Fisher, S.G., Carpenter, S.R. (1976). Ecosystem and macrophyte primary production of the Fort River, Massachusetts. *Hydrobiologia* 49, 175–187. <https://doi.org/10.1007/BF00772687>

30. Franklin, P., Dunbar, M., Whitehead P. (2008). Flow controls on lowland river macrophytes: a review. *Science of the Total Environment*, 400, 369-378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.018>
31. Grandclément, C., Seyssiecq, I., Piram, A., Wong-Wah-Chung, P., Vanot, G., Tiliacos, N., Roche, N., Doumenq, P. (2017). From the conventional biological wastewater treatment to hybrid processes, the evaluation of organic micro pollutant removal: A review. *Water research*, 111, 297-317. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.005>
32. Hall, R.O., Tank, J. L. (2003). Ecosystem metabolism controls nitrogen uptake in streams in Grand Teton National Park, Wyoming. *Limnology and Oceanography*, 48(3), 1120-1128. <https://doi.org/10.4319/lo.2003.48.3.1120>
33. Hartog, C. Den., Segal, S. (1964). A new classification of the water-plant communities. *Acta Botanica Neerlandica*, 13(3), 367-393. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1964.tb00163.x>
34. Heffernan, J.B., Cohen, M.J. (2010). Direct and indirect coupling of primary production and dial nitrate dynamics in a subtropical spring-fed river. *Limnology and Oceanography*, 55, 677-688. <https://doi.org/10.4319/lo.2010.55.2.0677>
35. Hejny, S. (1971). The dynamic characteristic of littoral vegetation with respect to changes of water level. *Hydrobiologia*, 12, 71-85
36. Holub, V.M. (1998). Eco-biological phytomeliorative peculiarities of macrophytes, perspective for planting with verdure of water basins of forest and steppe regions of the Right Dnieper Bank. (Qualifying scientific work on the rights of the manuscript). Kyiv, Ukraine (in Ukrainian).
37. Jadia, C.D. Fulekar, M. (2009). Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. *African Journal of Biotechnology*, 8, 921-928.
38. Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69 (3), 373-386. <https://doi.org/10.2307/3545850>
39. Lau, S.S., Lane, S.N. (2002). Nutrient and grazing factors in relation to phytoplankton level in a eutrophic shallow lake: the effect of low macrophyte abundance. *Water Research*, 36, 3593-3601. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00059-3)
40. Levchuk, I., Márquez, J. J. R., Sillanpää, M. (2018). Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange: A review. *Chemosphere*. 192, 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.101>
41. Li, W., Cao, Te, Ni, L., Zhang, X., Zhu, G., Xie, P. (2013). Effects of water depth on carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry of five submersed macrophytes in an in situ experiment. *Ecological engineering*, 61, 358-365. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.028>
42. Madsen, A., Chambers, P.A., James, W.F., Koch, E.W., Westlake, D.F. (2001). The Interaction between Water Movement, Sediment Dynamics and Submersed Macrophytes. *Hydrobiologia*, 444, 71-84. <https://doi.org/10.1023/A:1017520800568>

43. Madsen, T.V., Cedergreen, N. (2002). Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream. *Freshwater Biology*, 47, 283-291. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00802.x>
44. Mani, D., Kumar, C. (2013). Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: An overview with special reference to phytoremediation. *International Journal of Environment Science and Technology*, 11, 843-872. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0299-8>
45. Mishra, V. K., Tripathi, B., Kim, K. H. (2009). Removal and accumulation of mercury by aquatic macrophytes from an open cast coal mine effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 172 (2-3), 749-754. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.059>
46. Mosyakin, S.L., Fedoronchuk, M.M. (1999). Vascular plants of Ukraine. A nomenclatural checklist. Kiev, (in Ukrainian).
47. Newbold, J.D., Elwood, J.W., O'Neill, R.V., Winkle, W.V. (1981). Measuring nutrient spiralling in streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38, 860-863. <https://doi.org/10.1139/f81-114>
48. O'Brien, M., Lessard, J.L., Plew, D., Graham, S.E., McIntosh A.R. (2014). Aquatic macrophytes alter metabolism and nutrient cycling in lowland streams. *Ecosystems*, 17, 405-417. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9730-8>
49. O'Hare, M. T., Aguiar, F. C., Asaeda, T., Bakker, E. S., Chambers, P. A., Clayton, J. S., Elger, A., Ferreira, T. M., Gross, E. M., Gunn, I. D. M., Gurnell, A. M., Hellsten, S., Hofstra, D. E., Li, W., Mohr, S., Puijalón, S., Szoszkiewicz, K., Willby, N. J., Wood, K. A. (2018). Plants in aquatic ecosystems: current trends and future directions. *Hydrobiologia*, 812, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3190-7>
50. Pieterse, A. H. (1990). Introduction (Chapter 1). In Pieterse, A. H., & K. J. Murphy (eds), *Aquatic Weeds* (pp.3-16). Oxford University Press, Oxford, UK.
51. Pohorelova, Yu.V. (2021) Ecological features of floodplain complexes of macrophytes in the conditions of influence of Kyiv urban agglomeration. (Qualifying scientific work on the rights of the manuscript). Lviv, Ukraine (in Ukrainian).
52. Preiner, S., Dai, Y., Pucher, M., Reitsema, R. E., Schoelynck J., Meire P., Hein T. (2020). Effects of macrophytes on ecosystem metabolism and net nutrient uptake in a groundwater fed lowland river. *Science of the Total Environment*, 721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137620>
53. Rennie, M. D., Jackson, L. J. (2005). The influence of habitat complexity on littoral invertebrate distributions: patterns differ in shallow prairie lakes with and without fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62, 2088-2099. <https://doi.org/10.1139/F05-123>
54. Roberts, B.J., Mulholland P.J. (2007). In-stream biotic control on nutrient biogeochemistry in a forested stream, West Fork of Walker Branch: biotic control on stream nutrient uptake. *Journal of Geophysical Research Biogeoscience*, 112. <https://doi.org/10.1029/2007JG000422>

55. Saha, A., Mukherjee, P., Roy, K., Sen, K., Sanyal, T. (2022). A review on phyto-remediation by aquatic macrophytes: A natural promising tool for sustainable management of ecosystem. *International Journal of Experimental Research and Review*, 27, 9-31. <https://doi.org/10.52756/ijerr.2022.v27.002>
56. Sand-Jensen, K. (2008). Influence of submerged macrophytes on sediment composition and near-bed flow in lowland streams. *Freshwater Biology*, 39, 663–679. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00316.x>
57. Sarathchandra, S. S., Rengel, Z., Solaiman, Z. M. (2023). A Review on Remediation of Iron Ore Mine Tailings via Organic Amendments Coupled with Phytoremediation. *Plants*, 12(9), 1871. <https://doi.org/10.3390/plants12091871>
58. Sarwar, N., Imran, M., Shaheen, M.R., Ishaque, W., Kamran, M.A., Matloob, A., Rehman, A., Hussain, S. (2017). Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171, 710–721. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.116>
59. Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M-L., Moss, B., Jeppesen, E. (1993). Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in ecology and Evaluation*, 8 (8), 275–279. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90254-M](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90254-M)
60. Schoelynck, J., de Groote, T., Bal, K., Vandenbruwaene, W., Meire, P., Temmerman, S. (2012) Self-organised patchiness and scale-dependent bio-geomorphic feedbacks in aquatic river vegetation. *Ecography*, 35, 760-768. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2011.07177.x>
61. Sepehri, A., Sarrafzadeh, M.-H. (2018). Effect of nitrifies community on fouling mitigation and nitrification efficiency in a membrane bioreactor. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 128, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.04.006>
62. Shabani, N., Sayadi, M.H. (2012). Evaluation of heavy metals accumulation by two emergent macrophytes from the polluted soil: An experimental study. *Environmentalist*, 32, 91–98. <http://dx.doi.org/10.1007/s10669-011-9376-z>
63. Shelford, V. E. (1918). Conditions of existence. In Ward, H. B. & G. C. Whipple (eds.), *Freshwater Biology*, New York, 21–60.
64. Sondergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J. P., Lauridsen, T. (2008). Lake restoration in Denmark. *Lakes Reservoirs*, 5(3), 151-159 <https://doi.org/10.1046/j.1440-1770.2000.00110.x>
65. Wang, L., Ji, B., Hu Y., Liu R., Sun W. (2017) A review on in situ phytoremediation on mine tailing. *Chemosphere*, 184, 594-600. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.06.025>
66. Wei, Z., Hao, Z., Li, X., Guan, Z., Cai, Y., Liao, X. (2019). The effects of phytoremediation on soil bacterial communities in an abandoned mine site of rare earth elements. *Science of the Total Environment*. 670, 950–960. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.118>

67. Xu, X., Zhou, Y., Han, R., Song, K., Zhou, X., Wang, G., Wang Q. (2019). Eutrophication triggers the shift of nutrient absorption pathway of submerged macrophytes: Implications for the phytoremediation of eutrophic waters. *Journal of Environmental Management*, 239, 376-384. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.069>
68. Yakubenko, B.Ye., Tsarenko, P.M., Aleinikov, I.M., Shabarova, S.I., Mashkovska, S.P., Dyadyushka, L.M., Tertishnyi, A.P. (2011). Botany with the basics of hydrobotany (aquatic plants of Ukraine). Textbook for students of classical and agricultural universities. Kyiv, Fitosotsiotsentr (in Ukrainian).
69. Zhou, Y., Zhou, X., Han, R., Xu, X., Wang, G., Liu, X., Bi, F., Feng, D. (2017). Reproduction capacity of *Potamogeton crispus* fragments and its role in water purification and algae inhibition in eutrophic lakes. *Science of the Total Environment*, 580, 1421-1428 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.108>

ECOLOGICAL APPROACH TO THE CONSERVATION OF AGRICULTURAL PLANTS ON THE EXAMPLE OF TRITICUM AESTIVUM L.: MORPHOMETRIC, PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL REACTIONS

L. I. Bronnikova^{1,2}, L. O. Khomenko²

¹ Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

² Institute of Plant Physiology and Genetics, NAS of Ukraine

Abstract. Having the ability to organise a programme of their individual development depending on the prevailing cultivation conditions, the adaptive response of plants to stress includes changes in regulatory and metabolic structures, the level of interconnections of which combines different types of adaptive reactions. Recently, the development of biotechnological methods has made it possible to determine which characteristics change in response to a particular stress and has shown that genetic control of adaptation mechanisms to various types of adverse effects is a complex system of signal transduction pathways and regulatory factors.

Recently, the development of plant forms with an increased level of osmotolerance to osmotic stresses has been associated with the use of biotechnological methods. An important role in maintaining plant osmotolerance belongs to free proline, which is one of the most multifunctional stress metabolites in plants.

The germination of seeds under simulated water stress was studied. Stress was created by 0.5 M and 0.8 M mannitol solution. In the presence of mannitol, a decrease in the number of seedlings was observed in all tested variants. At the same time, genotypic differences were observed. To study the salt tolerance, the seeds were germinated for 10 days in a 0.5 diluted Murashige-Skoog solution with the addition of 20.0 and 25.0 g/l of seawater salts. On day 10, the content of free proline in the leaves of young plants was analysed. An increase in the level of proline was observed in response to salt stress. Genotypic differences were observed in the degree of the reaction. The nature of the accumulation of free proline under normal and stressful conditions provides evidence in favour of the functioning of the plant gene. Under osmotic stress, the level of free proline increases as a result of synthesis. These genotypic features may indicate an indirect effect on the endogenous genes of the plant. At the initial stages of research, the stress-response relationship can be established by changing the conditions of stress and recovery.

The fundamental role of proline in osmotic regulation and increasing the ability of plants to withstand cell dehydration caused by salinity, drought or extreme temperatures is well understood.

Key words: proline, winter wheat, growth parameters, soil drought, osmotic resistance.

ЕКОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗБЕРЕЖЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН НА ПРИКЛАДІ *TRITICUM AESTIVUM* L.: МОРФОМЕТРИЧНІ, ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ РЕАКЦІЇ

Л.І. Броннікова^{1,2}, Л.О. Хоменко²

¹ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

² Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

Анотація. Маючи здатність організовувати програму свого індивідуального розвитку в залежності від переважних умов культивування, пристосувальна реакція рослин до стресу включає зміни в регуляторних і метаболічних структурах, рівень взаємозв'язків яких поєднує різні види адаптивних реакцій. Останнім часом розвиток біотехнологічних методів дав можливість встановити, експресія яких характеристик змінюється у відповідь на дію того чи іншого стресу та показав, що генетичний контроль механізмів адаптації до різних видів несприятливих впливів представляє складну систему шляхів передачі сигналів та регуляторних факторів.

Отримання форм рослин із підвищеним рівнем осмотостійкості до осмотичних стресів за останній час пов'язують із застосуванням біотехнологічних методів. Важлива роль у підтримці осмотолерантності рослин належить вільному проліну, який є одним із найбільш багатофункціональних стресових метаболітів у рослин.

Досліджували проростання зернівок за умов модельованого водного стресу. Стрес створювали 0,5М та 0,8 М розчином маніту. У присутності маніту спостерігали зниження числа проростків у всіх тестованих варіантів. У той же час спостерігали генотипові відмінності. Для дослідження солестійкості зернівки впродовж 10-ти діб пророщували на 0,5 розведеному розчині Мурасіге – Скуга із додаванням 20,0 та 25,0 г/л солей морської води. На 10-ту добу аналізували вміст вільного проліну у листках молодих рослин. Відмічали підвищення рівня проліну у відповідь на дію сольового стресу. За ступенем прояву реакції спостерігали генотипові відмінності. Характер акумуляції вільного проліну за нормальних та стресових умов дає доказ на користь функціонування функціональності роботи гена рослини. За дії осмотичних стресів рівень вільного проліну зростає в результаті синтезу. Відзначені генотипові особливості можуть вказувати на опосередкований вплив на ендегенні гени рослини. На початкових етапах дослідження можуть бути встановлені при зміні умов стрес – відновлення.

Фундаментальна роль проліну в осмотичній регуляції та підвищенні здатності рослин протистояти зневодненню клітин викликаному засоленням, посухою або екстремальними температурами, досить добре вивчена.

Ключові слова: пролін, пшениця озима, ростові параметри, ґрунтова посуха, осмотостійкість.

Introduction. In recent years, the dramatic change/deterioration of the environment has required the scientific community to create and disseminate advanced biological technologies aimed at accelerating the process of sustainable plant breeding. Advanced biological technologies cover a growing number of agriculturally valuable crops [4, 11].

Wheat is one of the main food crops in the world, as manipulations with the crop are aimed at accelerating the breeding process when creating new high-yielding varieties resistant to biotic and abiotic stresses [3, 7, 14].

Modern climate change stimulates the emergence of new anthropogenic factors that combine with unfavourable environmental factors to increase the stress load, resulting in the problem of combined stresses and the need for plants with high adaptive potential. Obtaining plant forms with an increased level of resistance to abiotic stresses using the latest biotechnological methods is becoming increasingly important. However, along with the undeniable achievements, there are problematic issues that require special attention.

In this regard, the task of establishing a reliable marker(s) for monitoring the vital activity of the organism, a parameter that could respond to external influences, comes to the fore. In this way, the difference/contrast in the reaction of sensitive and resistant forms, varieties, and genotypes of plants can be revealed. Molecular markers, which are a special statistical characteristic of a variety, form or genotype, are not subject to environmental influences [5, 11, 13]. In addition, they are quite expensive and require special training from the user or a specialist. In view of this, the search for a systemic indicator that coordinates and interacts with all areas of metabolism is constantly underway. One of the most promising endogenous substances from this point of view is the amino acid L - proline (proline, *pro*) [15, 16, 17].

The peculiarities of this compound are based on its molecular structure, namely the presence of an α -nitrogen atom in the perelidine ring. As a result, proline (*pro*) is not a substrate for the action of amino acid metabolism enzymes, such as racemases, aminotransferases, and decarboxylases. Instead, *pro* metabolism is controlled by its own synthesis/degradation/transport systems. The level of free proline is a highly dynamic indicator, sensitive to external factors. Plant species with different degrees of natural resistance can accumulate different amounts of proline even under normal conditions [14]. At the same time, the accumulation of this compound under the influence of various biotic and abiotic stresses is an indisputable fact. That is, the physiological multifunctionality of free proline is simultaneously realised: detoxifying, osmoregulatory, and stabilising [12].

Goal. The aim of our work was to determine and analyse the level of proline in winter wheat at the early stages of grain germination, morphometric parameters without and after exposure to stress in winter wheat plants.

Materials and Methods. The object was seedlings of winter wheat genotypes. The genotypes were obtained at the plots of the Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The free proline content was determined according to the method [14] on day 10 of the experiment. The whole seedling (ground and root parts) was analysed. To provide the required biomass, tissues from 15-20 plants were ground, mixed, and a total weight was taken from the mixture. The viability of seeds was determined on the 10th day in % germination to the total number of grains. The experiment was conducted in triplicate. The results were statistically processed using.

Results and discussion. It is known that, in general, the level of free proline (*pro*) is self-regulated by the expression/repression of genes for its synthesis/degradation enzymes: Δ 1-pyrroline-5-carboxylate synthetase (P5CS) [2, 14]. Under stressful conditions, the level of *pro* may increase. On the other hand, the level of resistance to osmotic stress is not a stable trait, even for one plant, but changes in ontogeny [15]. In addition, the increased content of *pro* in certain plant organs may occur as a result of its movement from the zone of its synthesis. Therefore, the study of the free *pro* content is a complex procedure; it should be linked to the activity of seed germination under stressful conditions, maintenance of viability, speed of recovery from stress, and morphometry.

Osmotic stresses were created by adding mannitol (0.5M, 0.8M) or seawater salts (20.0 g/l – 2mw, 25.0 g/l – 2.5mw). The T0 grain obtained after transformation and the original genotypes were tested. The control was the grain that was (germinated) in water (Table 1).

Table 1: **Germination of wheat grains under stress conditions (from planted)**

Genotype	7 days					10 days				
	H ₂ O	2mw	2,5mw	0,5M	0,8M	H ₂ O	2mw	2,5mw	0,5M	0,8M
UK – 065	98,30 ±1,25	90,0	70,0	95,5	5,0	98,30 ±1,25	90,0	70,0	95,5	50,0
UK – 107 h	93,74 ±2,15	80,0	94,4	90,0	He pic	93,74 ±2,15	80,0	94,4	90,0	97,9

During germination, the linear dimensions of the roots and aerial parts were monitored, and the number of roots was counted. The experiment was stopped on day 16 due to the onset of seedling death.

Morphometry data, which was performed on day 10, are presented in Table 2.

Table 2: **Dimensions of wheat seedlings obtained under stress conditions**

Germination conditions	UK – 065		UK – 107 h	
	Above ground part	Root	Above ground part	Root
H ₂ O	4,01 ± 0,73	5,28 ± 1,76	3,78 ± 2,50	3,68 ± 2,35
2mw*	0,3	0,5	0,3	0,5
2,5mw*	- **	0,75 ± 0,38	- **	1,05 ± 0,13
0,5M*	- **	3,00 ± 0,25	- **	3,50 ± 0,28
0,8M*	- **	1,1	- ***	- ***

Note: * - grains were counted; ** - the aerial part was not released (under the skin); *** - no germination was observed

The morphometric analysis carried out on day 10 showed: a) low concentrations of salt and mannitol (2.0% of sea water salts, 0.5M mannitol) caused the same reactions from the aerial part and root system in all wheat seedlings of genotype UK – 065; b) the effect of increased salinity concentration caused significant variability in the length of the control root, which could be due to different degrees of stress damage. It is known, that it is the root system that suffers from salinity in the first place. Seedlings of UK-107 h reacted similarly to the increase in the concentration of stress factors. This reaction rather indicates a tendency to adaptation. The viability of the grains is indicated by a higher percentage of germinated seeds, which was observed on the 10th day on the medium with 0.8M mannitol. Other genotypes, namely UK 322 and UK 209 h, were also tested under stress conditions. Similar to the genotype UK – 065, the germination process stopped after 10 days. Further exposure to osmotic stresses caused the death of young plants – the aerial part of the seedling darkened, the root system gradually died. Table 3 shows the germination rates for different wheat genotypes.

Table 3: **Germination of wheat grains (*Triticum aestivum* L.)**

Genotype	Germination conditions		
	H ₂ O	2,0% sea soil	0,5M manitol
UK - 322	80,75 ± 3,50	60,30	73,61
UK- 209 h	89,30 ± 4,17	50,40	51,20

With an increase in stress load (2.5% seawater salts or 0.8M mannitol), germination was further inhibited or stopped altogether. Thus, the seeds obtained after transformation

of the genotype UK 322 germinated in the presence of 0.8 M mannitol only in 10% of cases. Germination under salinity conditions was in the range of 0-10%. Although, at first glance, the effect of salinity seemed more aggressive, in our opinion, the genotypes responded to an increase in the osmotic pressure of the medium. First, the in situ response of plants to short-term air drying was determined. Seeds were germinated in water for 7 days (A). Young plants (2.0-2.5 cm in size) were kept on dry filter paper at room temperature for 12 hours (B). After drying, the seedlings were transferred to moistened filter paper for 3 days (C). In our opinion, such rotations of cultural conditions contributed to the disclosure of the adaptive potential of plant organisms and could also reveal the range of normality. At each stage A, B, C, the level of free pro was measured (Table 4).

Table 4: **Free proline content in wheat seedlings under changing cultivation conditions**

Genotype	Proline mg%/g crude weight		
	Variant A	Variant B	Variant C
Zolotokolosa	23,11	34,11	66,23
Smuglyanka	10,51	41,61	57,18
M - 808	51,60	97,75	100,81
Volodarka	36,12	71,98	86,30

The data in Table 4 undeniably point to two facts. Firstly, in young wheat plants (7-day old), the level of free pro varies widely. Such a range describes the individual characteristics of the organism under normal conditions, namely the germination process itself. There is evidence in the literature that moderate amounts of proline promote cell division and plant growth (A). At the same time, large amounts of the amino acid can have a negative effect, causing a slowdown/stoppage of growth [10, 13]. Secondly, short-term (12 hours) drying, followed by humidification, caused sharp fluctuations in the pro content.

At the same time, the absolute values increased significantly. Such digital values indicate the development of significant water stress. The extent of the damage may be evidenced by the fact that even on the 3rd day after the start of rehydration, the pro level did not yet reach normal values. At the same time, in our opinion, dehydration stress did not cause degradation of plant structural components, since after rehydration the pro level decreased sharply. Such events may indicate the efficiency of the proline metabolism system, and in general, the vital activity of plants of all genotypes. Since the dehydration/rehydration processes caused significant fluctuations in the content of the amino acid, it was considered appropriate to determine the level of free pro under prolonged exposure to simulated water stress, since the prolongation of the stress period should affect the activity of its metabolic enzymes.

The wheat grains were germinated under normal conditions for 7 days and then transferred to a 0.5M mannitol solution. The pro content was determined in the aerial part. Morphometric measurements were performed before the analysis.

Young plants with aerial parts of 1.5-2.0 cm in size and roots not exceeding 2.5 cm were transferred to stressful conditions. On day 7 of the experiment, the following events were observed: a) the size of the aerial part of seedlings of all genotypes remained practically unchanged; b) the number of roots increased and varied widely from 2 to 6. New roots were 0.5-3.0 cm long and thinner. On the 14th day, the following was recorded: a) all control plants were dead. At the same time, a significant chlorophyll fading in the aerial part was noted. The root system, on the contrary, darkened, the root tissue softened.

At the same time, a significant decrease in leaf turgor was observed in viable seedlings.

The size of the aboveground part remained unchanged. There were changes in the root system: parallel processes of rhizogenesis/destruction took place. Older roots were replaced by young roots. Therefore, the average root length on the 14th day was in the range of 0.3-0.7 cm. The experiment was stopped due to the death of the control. The stress-specific response of roots has been reported [6, 16].

In seedling cells, the level of pro varied widely. Since the plants underwent rhizogenesis, this event is an adequate indicator of the organism's resistance. Thus, the accumulation of proline can be considered a consequence of its synthesis (varying in intensity), which is a genotypic property. At the same time, the synthesis did not necessarily occur in the aerial part. Rather, it was carried out in the roots, which were formed de novo [1, 9, 14]. The synthesised proline was transferred to the aerial part with the participation of specialised transporters. In any case, the level of pro was sufficient to maintain vital activity. The data in Table 6 show a significant impact on proline levels.

Conclusions. Thus, in the course of the research, it was found that Free proline in young wheat seedlings was a product of hydrolytic enzymes. The level of proline during germination under stress can be a marker of genotype resistance.

References

1. Abrar, M.M., Sohail, M., Saqib, M., Akhtar, J., Abbas, G., Wahab, H.H., Mumtaz, M.Z., Mehmood, K., Memon, M.S., Su, N., Xu, M. (2022). Interactive salinity and water stress severely reduced the growth, stress tolerance, and physiological responses of guava (*Psidium guajava* L.). *Scientific reports*, 12, 18952 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22602-5>
2. Ahmed, S., Ahmed, S., Roy, S.K., Woo, S.H., Sonawane, D., Shohael, A.M. (2022). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Open Agriculture*, 4, P. 361 – 373 <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0033>
3. Cordea M.I., Borsai O. (2021). Salt and water stress responses in plants. *Plant Stress Physiology – Perspective in Agriculture*, P.1-22 <https://doi.org/10.5772/intechopen.101072>
4. De Melo, B.P., De Avelar Carpinetti, P., Fraja, O.T., Rodrigues – Silva, P.L., Fioresi, V.S., De Camargos, L.F., Da Silva Ferreira, M.F. (2022). Abiotic stresses in plants and their markers: a practice view of plant stress responses and programmed cell death mechanisms. *Plants*, 11(1100), pp.1 – 25 <https://doi.org/plants11091100>
5. Imran, Q.M., Hussan, A., Man, B-G., Yun, B-W. (2021). Abiotic stress biotechnological tools in response. *J. Agronomy*, 11(8), P.15 – 79 <https://doi.org/10.3390/agronomy11081579>
6. Faid, S., Irshad, A., Mosa, W.F.A. (2023). The biological and biochemical composition of organic fertilizers. *BMC Plant Biology*; 23(1), 111 <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04120-2>
7. Fu, Z., Ciais, P., Wigneron, P.-J., Gentine, P., Feldman, A.F., Kemanian, A.R., Goll, D.S., Stoy, P.C., Prentice, I.C., Yakir, D., Liu, L., Ma, H., Li, X., Huang, Y., Yu, K., Zhu, P., Li, X., Zhu, Z., Lian, J., Smith, W.K. (2024). Global critical soil moisture thresholds of plant water stress. *Nature Communicationd*, 15(4826), P.1-13
8. Moukhtari, el A., Cabassa – Hourton, C., Farissi, M., Savoure, A. (2020). How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? *Front.Plant Sci.*, 11 <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01127>

9. Oguz, M.C., Aycan, M., Oguz, C., Poyaraz, I., Yildiz, M. (2022). Drought stress tolerance in plants: interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. *Journal Physiologia*, 2(4), p.180 – 197 <https://doi.org/10.3390/PHYSIOLOGIA2040015>
10. Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L-S.P. (2014). Response of plant to water stress. *Front. Plant Sci., sec.Plant Physiology*, 5(86), P. 1 – 8 <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
11. Palyvoda, Y.M., Havii, V.M., Kuchmenko, O.B. (2021). Physiological and biochemical parameters of durum wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings in modelling water deficit under the influence of metabolically active compounds. *Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series Biology*, 81(3), P.44 - 54 <https://doi.org/10.25128/2078-2357.21.3.7>
12. Raza, A., Charagh, S., Abbas, S., Hassan, M.U., Saeed, F., Haider, S., Sgarif, R., Adant, A., Corpas, F.J., Jin, W., Varshney, R.K. (2023). Assessment of proline function in higher plants under extreme temperatures. *Plant Biology*; 25(3), p.379 – 395 <https://doi.org/10.1111/plb.13510>
13. Satya, P., Bhattacharju, S., Sarcar, D., Roy, S., Sharma, L., Mangal, N.A. (2022). Transcriptomics in Plant. *Plant genomics for sustainable agriculture*, pp.99 – 127 https://doi.org/10.1007/978-981-16-6974-3_5
14. Sergeeva, L.E, Bronnikova, L.I., (2020). Proline in winter wheat seedlings obtained after genetic transformation. *Biodiversity, Ecology and Experimental Biology*, Vol. 22(1), pp. 108-116. <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2020.22.1.10>
15. Wang, Z., Yang, Y., Yadov, V., He, Y., Zhang, X., Wei, C. (2022). Drought – induced proline is mainly synthesized in leaves and transported to roots in watermelon under water deficit. *Horticultural Plant Journal*, 8(5), P.615 – 626 <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2022.06.009>
16. Zhang, H.; Zhu, J.; Gong, Z.; Zhu, J – K. (2022). Abiotic stress responses in plants. *Nature reviews genetics*; 23, 104 – 119. <https://doi.org/10.1038/s41576-021-004413-0>
17. Zhang, Y., Xu, J., Li, R., Ge, Y., Li, R. (2023). Plants' response to abiotic stress: mechanisms and strategies. *International Journal Moolecular Science.*, 24(13), 10915 <https://doi.org/10.3390/ijms2413109115>

ВИКОРИСТАННЯ КЛІТИННОЇ СЕЛЕКЦІЇ В ОТРИМАННІ СТРЕС - СТІЙКОГО ТЮТЮНУ (*NICOTIANA TABACUM* L.) ДО МОДЕЛЬОВАНОГО ЗАСОЛЕННЯ ТА ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Л.І.Броннікова^{1,2}, І.О.Зайцева¹, Л.О.Хоменко², М.О.Дикун²

¹ Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

² Інститут фізіології рослин і генетики НАН України

Анотація. Одним із факторів навколишнього середовища, що приводять до значного зниження врожайності рослин є засолення ґрунтів. У зв'язку з загальним погіршенням екологічної картини в світі та широким використанням штучного зрошення

земель, зростає необхідність в селекції солестійких форм рослин. Можливість вивчення стрес-стійкості, в тому ж числі і дає використання культури рослинних клітин. Перевагами стійкості до абіотичних чинників рослин в умовах *in vitro* є швидка оцінка полігенної стійкості. Використання методу клітинної селекції із застосуванням летальних доз ІВМ є гарантованим методом виділення клітинних культур, котрі відзначаються активною життєдіяльністю в умовах дії такого стресового навантаження. Отримано клітинні лінії тютюну, стійкі до катіонів барію, (Ba-СКЛ). Частота виділення стійких варіантів у будь-якого генотипу відповідала порядку 10^{-6} . В клітинній селекції стійкість оцінюють за відносним приростом біомаси калюсу (Δm), який вказує на ступінь життєдіяльності (стресового ураження). Концентрація катіонів Ba^{2+} , яка застосовувалась, була летальною для клітинних культур дикого типу.

Отримані стійкі культури вважали стійкими клітинними лініями, що доводиться подальшими отриманими фактами. Вони характеризувалися стабільною проліферацією за дії іонів-стресорів та зберігали цю ознаку у клітинних поколіннях після тривалого вирощування без селективного тиску.

Ключові слова: засолення, клітинна селекція, *Nicotiana tabacum* L., стрес-стійкість, іони K^+ та Na^+ , регенеранти, білок, лінії.

USE OF CELL SELECTION IN OBTAINING STRESS RESISTANT TOBACCO (*NICOTIANA TABACUM* L.) TO DELIPIDATED SALINITY AND ANTHROPOGENIC POLLUTION

L.I.Bronnikova^{1,2}, I.O.Zaitseva¹, L.O.Khomenko², M.O.Dykun²

¹ *Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

² *Institute of Plant Physiology and Genetics, NAS of Ukraine*

Abstract. Soil salinity is one of the environmental factors that lead to a significant reduction in plant yields. Due to the overall deterioration of the global environmental picture and the widespread use of artificial irrigation, there is a growing need to breed salt-resistant plant species. The use of plant cell culture also makes it possible to study stress resistance. The advantage of *in vitro* testing of plant resistance to abiotic factors is the rapid assessment of polygenic resistance. The use of the cell selection method with the application of lethal doses of IPM is a guaranteed method of isolating cell cultures that are characterised by active vital activity under the influence of such a stress load. The tobacco cell lines resistant to barium cations (Ba-CCL) were obtained. The frequency of isolation of resistant variants in any genotype corresponded to the order of 10^{-6} . In cell breeding, resistance is assessed by the relative increase in callus biomass (Δm), which indicates the degree of vital activity (stress damage). The applied concentration of Ba^{2+} cations was lethal for wild-type cell cultures.

The obtained resistant cultures were considered to be resistant tobacco cell lines, which was proved by further results. They were characterised by stable proliferation under the influence of stressor ions and retained this feature in cell generations after prolonged cultivation without selective pressure.

Key words: salinity, cell selection, resistance, *Nicotiana tabacum* L., stress tolerance, K^+ and Na^+ ions, regenerant, ptotein, lines.

Вступ. Збільшення числа чисельності населення нашої планети є серйозним викликом для сталого соціального розвитку, який потребує постійного нарощування виробництва сільськогосподарських рослин. Абіотичний стрес, спричинений змінами клімату, приводить до порушення процесів на фізіологічному та молекулярному

рівнях, які впливають на ріст/розвиток рослин, що призводить до втрат врожайності у виробництві культур [12, 11, 16].

Серед абіотичних стресів найбільший шкодочинний вплив спричиняє осмотичний стрес – засолення [2, 15]. Для зниження шкідливого впливу засолення на врожайність рослин існує потреба у солестійких генотипів рослин.

Одним із найбільш перспективних напрямків вирішення проблеми отримання і стрес-стійких форм рослин вважають клітинну селекцію [7, 17].

Відомо, що абіотичні стреси викликають комплекс взаємно пов'язаних реакцій, які можуть протікати одночасно або по чергово. Тому для первинної селекції доцільно було б обирати агент, котрий відзначався як специфічною так і загальною шкодочинною дією.

Мета. Відбір комплексно стійких генотипів, то під час кожного окремого пасирування завжди провадили зміну умов культивування. Моделюючи стресовим агентом обрати речовину, яка характеризується високою токсичністю у відносно малих кількостях. Тому вона може призводити до значних уражень клітини. Клітинна селекція стає головним методом отримання рослинних форм з унікальними характеристиками. Такими характеристиками відзначаються іони важких металів (ІВМ) [4, 6, 22].

Матеріали і методи. Для створення модельної системи *in vitro* було використано іон Ba^{2+} . Селектуючу концентрацію іона барію визначали в попередніх експериментах. Нею вважали найменшу кількість стресора яка припиняла розвиток клітинної культури дикого типу. Якщо після повернення в нормальні умови життєдіяльність культури відновлювалась концентрацію стресового чинника підвищували. Таким чином запобігали відбору адаптантів. Якщо іон, який застосовувався, вимагав особливих модифікацій середовища, то такі зміни проводились з урахуванням збереження якісного та кількісного складу живильних середовищ [11, 21, 22].

В клітинній селекції велике значення має феномен життєдіяльності стійкої клітинної культури. Стійкою вважають культуру, яка тільки витримує стресовий тиск при повному гальмуванні ростових процесів, а відновлює проліферацію лише за нормальних умов. В наших експериментах відбирались культури, які зберігали ріст і розвиток впродовж всього терміну культивування. Для визначення стійкості постійно контролювався показник відносного приросту біомаси (Δm):

$$\Delta m = \frac{(m_1 - m_0)}{m_0}$$

m_0 – маса клітин на початку пасажу, m_1 – маса клітин в кінці пасажу [5, 17].

Результати та обговорення. Оскільки метою експерименту був відбір комплексно стійких генотипів, то під час кожного окремого пасирування завжди провадили зміну умов культивування. Кількість пасажів на окремому середовищі (строк культивування) був довільний. Перевірку робили, використовуючи клітинні культури тютюну.

Ва-СКЛ були отримані в результаті первинної селекції на середовищі з летальною концентрацією іону Ba^{2+} . Після нарощування клітинної біомаси на селективному середовищі відбору калос паралельно пасирували на контрольному середовищі (н.у.) та на селективних середовищах із Ba^{2+} .

У таблиці 1 подано параметр Δm для СКЛ тютюну (відповідно 2-й і 6-й пасажі); кожний окремих пасаж не перевищував 35 діб. Пасаж, наступний після процедури плейтингу вважали нульовим. Клітинні культури 6-го пасажу перед вимірюванням Δm три пасажі, з 3-го по 5-й, вирощували за нормальних адаптаційних ефектів і оцінювати виключно генетичні параметри стійкості.

Концентрація катіонів Ba^{2+} , яка застосовувалась, була летальною для клітинних культур дикого типу.

З наведеної таблиці зрозуміло, що Ва-СКЛ тютюну зберігали властиву життєдіяльність при різких змінах умов вирощування: стрес – норма – стрес. При цьому, однак, варто вказати, що за нормальних умов Δm клітинних варіантів був вищим і перебував у межах 3,74-6,37.

Табл. 1: Відносний приріст біомаси калусу (Δm) Ва-СКЛ тютюну різних пасажів при культивуванні на селективному середовищі з $2mMBa^{2+}$

Table 1. Relative increase in callus biomass (Δm) of Ba-RCL of tobacco of different passages during cultivation on selective medium with $2mMBa^{2+}$

Стійка клітинна лінія, культура	Δm	
	2-й пасаж	6-й пасаж
ТЮТЮН		
СКЛ № 2	$4,70 \pm 0,17$	$5,00 \pm 0,93$
СКЛ № 13	$2,85 \pm 0,20$	$1,00 \pm 0,21$
СКЛ № 17	$1,50 \pm 0,02$	$3,33 \pm 0,23$
СКЛ № 19	$1,25 \pm 0,03$	$0,96 \pm 0,39$
Контроль	Росту не було	Росту не було

Серед стійких клітинних ліній тютюну були виділені навіть надстійкі варіанти, котрі демонстрували проліферацію у присутності $5mM$ катіонів барію, тобто витримували дозу токсиканта у 2,5 разів вищу летальної.

Відомо, іони Ba^{2+} впливають на перенесення іонів K^{+} . Іонна взаємодія/антагонізм відзначена і для інших катіонів. Отже стійкість до засолення може бути пов'язана із кінетикою переносу токсичних катіонів або структурою самих транспортерів. Припускаємо, також, що крос-стійкість до іонів Ba^{2+} як фактора до засолення пов'язана із зміною в'язкості мембран, яка викликається зміною ступеня насиченості їх ліпідів [1, 4, 7, 21, 22].

Одним з встановлених ефектів, який може чинити іон важкого металу в біологічних системах, є функція стабілізатора структур. Ця функція виконується в простих випадках, коли мають на увазі орієнтуючий вплив іонів в комплексній сполуці. Коли метал стабілізує структуру білків у ферменті, не впливаючи на процес каталізу. В тому випадку, коли іон металу утворює каталітичну структуру із якісно новими показниками [7, 9, 20, 21]. Однак остання подія імовірна лише в присутності іона металу. В нашому випадку крос-стійкість Ва-СКЛ підтверджується проліферацією та ростом культури на будь-якому селективному середовищі. Скоріше за все така подія здійснюється за рахунок компартментації токсичних іонів. Таке припущення підтвердилось при визначенні вмісту вільного проліну у стійких клітинних ліній.

Пролін – виняткова вторинна амінокислота. Оскільки в складі молекули міститься α -атом азоту у піролідиновому кільці, пролін не є (подібно іншим амінокислотам) звичайним субстратом для ферментів амінокислотного метаболізму – декарбоксилаз, амінотрансфераз, рацемаз. Натомість існує сімейство метаболізуючих пролін ферментів із власним клітинним розташуванням та регуляторними механізмами [8, 11, 14, 19]. Пролін відіграє вирішальну роль в клітинних механізмах і як складова протеїнів, і як вільна амінокислота. Завдяки циклічній структурі, пролін має обмежену конфірмаційну гнучкість, що визначає, в кінцевому рахунку, стабілізацію/дестабілізацію вторинної структури білку.

Висока іонна сила культурального середовища викликала накопичення проліну. Однак ця подія стосувалась клітин, які вирощували у присутності солей морської води. Ця адаптивна відповідь пов'язана, очевидно, із дією аніонів. На користь цього припущення вказує тотожність змін балансу K^{+}/Na^{+} , яку спостерігали в клітинах

при перенесенні на середовища із будь-яким типом засолення. Зростання/зменшення рівня амінокислоти у культурі узгоджувалась із стадіями клітинного циклу [7, 10, 23].

У галофітів в умовах засолення також відбуваються зміни неорганічних іонних компонентів і супровідне з ним зростання вмісту проліну [9, 14, 18, 20]. При цьому акумуляція амінокислот у них розцінюється як адаптивна ознака солестійкості.

Саме це вказує на чергування подій активного синтезу/використання проліну в межах, необхідних для підтримання росту культури при дії конкретного стресового чинника. Цей феномен властивий Ва-СКЛ.

В таблиці 2 наведено показники рівня вільного проліну, визначеного в клітинах Ва-СКЛ тютюну на 14 день культивування в присутності 1,5 кратно летальної дози іонів Ba^{2+} . Таку концентрацію токсичних катіонів витримувала переважна більшість стійких клітинних ліній тютюну. Тому після додаткового скринінгу серед СКЛ виділяли та культивували клітинні варіанти лише з таким рівнем стійкості.

Табл. 2: Вміст вільного проліну в калусі Ва-СКЛ тютюну при культивуванні в присутності катіонів Ba^{2+}

Table 2. Free proline in tobacco callus Ba-RCL when cultured in the presence of Ba^{2+} cation

Стійка клітинна лінія	Пролін мг %/г сирої маси	
	Середовище B_5 Гамборга	Середовище B_5 Гамборга*+3мМ Ba^{2+}
СКЛ № 2	6,13 ± 0,53	1,70 ± 0,034
СКЛ № 9	7,50 ± 0,11	11,80 ± 0,24
СКЛ № 10	7,72 ± 0,33	9,00 ± 1,77
СКЛ № 14	9,71 ± 1,05	7,25 ± 0,17
Контроль	10,70 ± 0,29	3,63 ± 0,24

Оцінюючи у Ва-СКЛ два визнаних параметра солестійкості, а саме взаємовідношення іонів K^+/Na^+ і рівень вільного проліну паралельно, помітно, що суттєве зниження першого показника відносно контролю викликає засолення будь-якого типу.

Стійкість рослин тютюну супроводжувалась підвищеним рівнем вільного проліну в листках. Підвищення вмісту проліну відбувалось за рахунок його синтезу і, можливо, часткового транспорту з коренів після їхнього утворення *de novo*. Динаміка коливань вмісту амінокислоти співпадала з характером змін, зафіксованих у клітинних ліній, культивованих за умов засолення.

Отже у підтриманні солестійкості рослин ключову роль відіграють механізми, реалізовані на клітинному рівні. Експериментальна система: стійка клітинна лінія – стійка рослина-регенерант – стійке потомство – спрацьовує у всіх ланках.

Відомо, що збільшення позаклітинного білкового пулу часто пов'язано з фосфорилюванням по тирозиновим сайтам та визначає статус культури [1, 2, 3, 13, 23].

Аналогічна подія перерозподілу білку було відмічено при культивуванні Ва-стійких клітинних ліній тютюну при хлоридному та сульфатному засоленнях. В той же час вміст білку в клітинах за стресових умов був нижчим.

Відмічені явища, на нашу думку, відображають особливості функціонування клітин, а в цілому можуть свідчити на користь нормальної життєздатності варіантів при стресовому тиску.

Рослини R0, а також насіння та проростки R1 тестувались *in vitro* в умовах прямої дії засолення (25,0 г/л солей морської води).

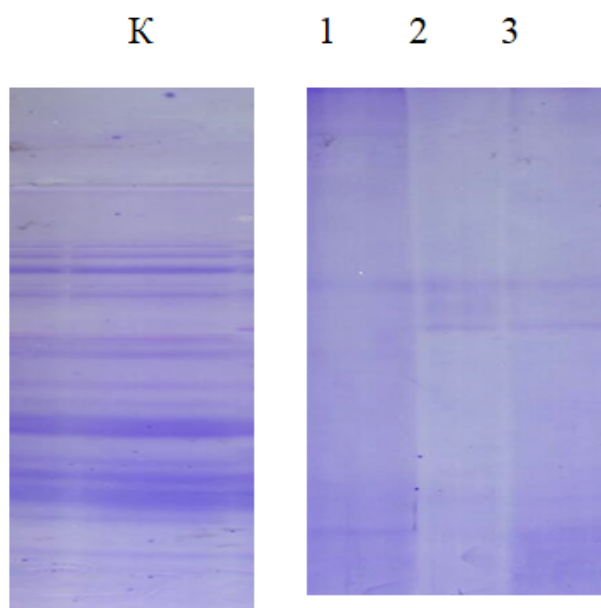


Рис. 1: Електрофорез розчинних білків тютюну за сольового стресу, культивований за умов *in vitro*

Figure 1. Electrophoresis of soluble proteins of tobacco under salt stress cultivated under conditions of *in vitro*

*К – тютюн, рослина, дикий тип, нормалі умови; 1 – калюс, дикий тип, солі морської води; 2 – Ва-стійка лінія, солі морської води; 3 – Ва-стійка лінія, Na_2SO_4 [3, 17, 20].

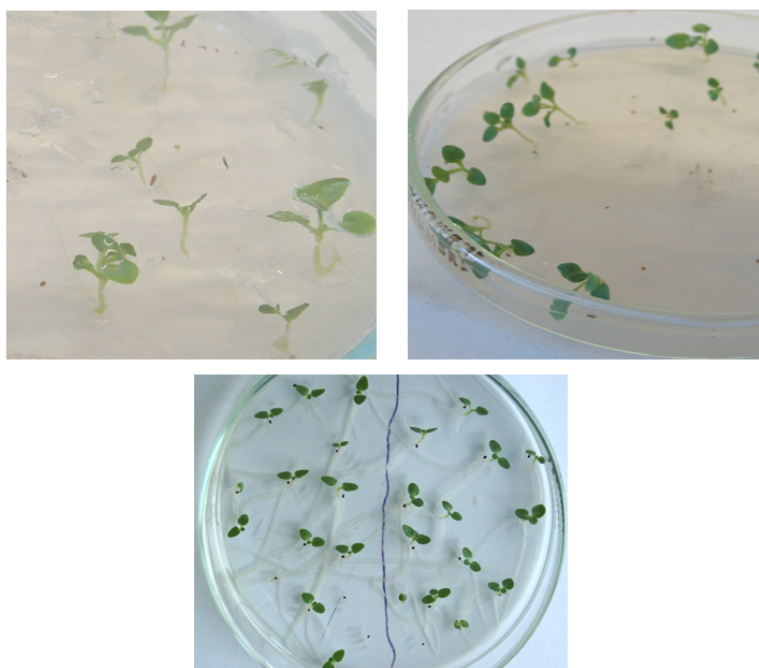


Рис. 2: Проростання насіння R1 після 21-о витримування при засоленні (2,5% солей морської води)

Figure 2. Germination of R2 seeds after 21 incubations under inoculation with 2.5% seawater salt

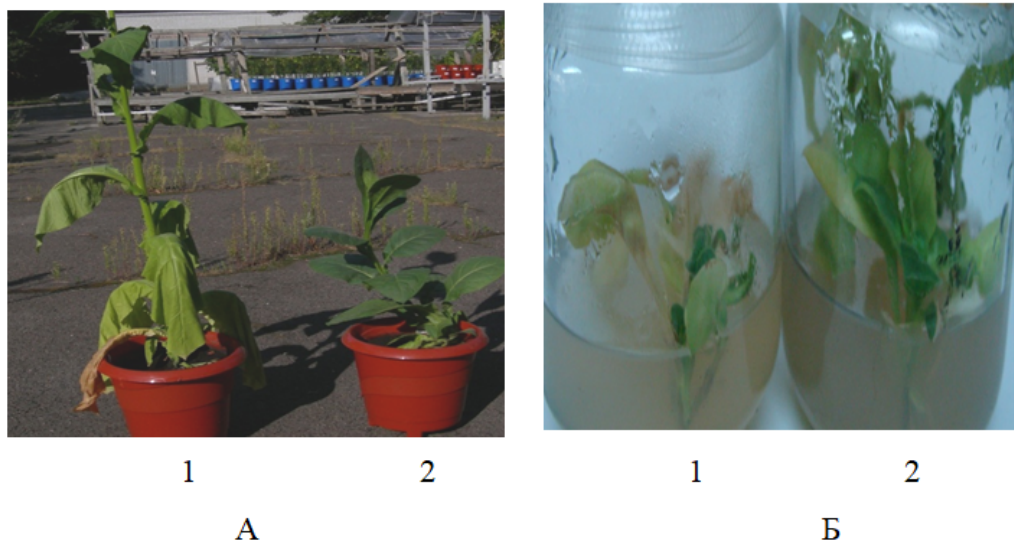


Рис. 3: А. Контроль (1) та рослина – регенерант (2) після 5-ти денної посухи; Б. Контроль та рослина – регенерант, культивировані при засоленні в умовах *in vitro*

Figure 3 A. Control (1) and plant – regenerants (2) at 5 days dryness; B. Control and plant – regenerants, cultivated under the conditions *in vitro*

Рослини R0 за стресових умов формували коріння та листочки. Це свідчить про нормальну життєдіяльність організму, яка підтримується за рахунок найсуттєвіших метаболічних процесів. Про спрямованість реакцій свідчить обмежений протеїновий пул в клітинах рослин.

Застосування іонів Ba^{2+} у клітинній селекції показало великий потенціал їхньої придатності для отримання рослинних форм із підвищеним рівнем солестійкості. Фактично, замість типового глікофіту, яким є тютюн, з'явився новий генотип, що за стійкістю (розвивається у присутності 2,5%-ного засолення) відповідає класичним галофітам.

Висновки. Ва-СКЛ реагують на дії конкретних іонів-стресорів. Присутність катіонів Ba^{2+} впливає на іонний баланс, утримуючи K^{+} , що, однак не є єдиною причиною солестійкості. У СКЛ змінюється рівень вільного проліну в залежності від типу осмотичного стресу. При цьому проявляється детоксикуюча роль проліну.

Залучення іонів важких металів в клітинній селекції дало можливість отримати клітин стійкі лінії та рослин до засолення. Такий перспективний біотехнологічний метод дозволяє забезпечити отримання нових стресостійких генотипів будь-яких сільськогосподарських культур.

References

1. Abbas, A., Mansha, S., Wahud, H., Hayyat, U., Zhang, Y.-J., Alwutayd, K. (2024). NaCl stress, tissue specific Na^{+} and K^{+} uptake and their effect on growth and physiology of *Helianthus annuus* L. *Scientia Horticulture*, 326, 112454 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112454>
2. Ahmed, S., Ahmed, S., Roy, S.K., Woo, S.H., Sonawane, D., Shohael, A.M. (2022). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Open Agriculture*, 4, P. 361 – 373 <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0033>
3. Andreeva, T.V., Maluchenko, N.V., Sivkuna, A.L., Chertkov, O.V., Valieva, M.E., Kotova, E.Y., Kirpichnikova, M.P., Studitsky, V.M., Feofanov, AV. (2022). Na^{+}

- and K⁺ ions differently affect nukleosome, structure, and interactions with proteins. *Microscopic Microanalytic*, 28(1), P.243 – 253
<https://doi.org/10.1017/S14319276211013751>
4. Bangajavilli, S., Selvaraj, K., Esakkimal, B. (2021). Retrieval of barium affected *Phaseolus mungo* L. by *Ulva lacuta*. *International Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 6(4), P.59 – 63 <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2018.08.555729>
 5. Bapat, V.A., Kavi Kishor, P.B., Jalaja, N., Jain, S.M., Penna, S. (2023). Plant cell cultures: biofactories for the production of bioactive compounds. *Agronomy*, 13(3), 857 <https://doi.org/10.3390/agronomy13030858>
 6. Bull, T., Michelmores, R. (2022). Molecular determinants of *in vitro* plant regeneration: prospect for enhanced manipulation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Frontiers Plant Sciences*, 13, P.1-32 <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888425>
 7. Brini, F., Saibi, W. (2023). In book: Chapter 14 –role of proline in regulating physiological and molecular aspects of plants under abiotic stress. P.39 – 47 <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98332-7.00007-X>
 8. Colin, I., Ruhnnow, F., Zhu, L – K., Zhao, Y., Person, S. (2023). The cell biology of primary cell warts during salt stress. *The plant cell*, 35(1), P.201 – 207 <https://doi.org/10.1093/plcel/koa292>
 9. Imran, Q.M., Falak, N., Hussan, A., Man, B - G., Yun, B - W. (2021). Abiotic stress biotechnological tools in stress response. *Journal Agronomy*, 11(8), 15-79 <https://doi.org/10.3390/agronomy11081579>
 10. Jiang, L., Pang, L., Yang, L., Li, W., Duan, L., Zhang, G., Luo, Y. (2021). Engineering endogenous L-proline biosynthetic pathway to boost trans-4-hydroxy-L-proline production in *Escherichia coli*. *Journal Biotechnology*, 4(1), P.70 – 79 <https://doi.org/10.1016/j.jbiotech.2021.01.015>
 11. Kamiloglu, S., Tomas, M., Ozkan, G., Ozbal, T., Capanoglu, E. (2024). *In vitro* digestibility of plants proteins: strategies for improvement and health implications. *Current opinion in food science*, 57, 101148 <https://doi.org/10.1016/j.conf.2024.101148>
 12. Kobata, T. (2024). Abiotic factors affect plant growth. In book: Responses of Plants to soil feeding, P.3-17 https://doi.org/10.1007/978-981-99-9112-9_1
 13. Li, M., Zou, L., Zhang, L., Ren, G., Liu, Y., Zhao, X. (2024). Plant – based proteins: advances in their sources, digestive profiles *in vitro* and potential health benefits. *Critical reviews in food science and nutrition*, P.1 – 21 <https://doi.org/10.1080/104008398.2024.2315488>
 14. Luo, D., Song, F., Lu, M., Shi, Y., Ma, Q. (2023). Salt – stress – induced ion transport contributes to K⁺/Na⁺ homeostasis in root of *Ping'ou* hybrid hazelnut. *Food*, 14181, 1851 <https://doi.org/10.3390/f14508651>
 15. Lohani, N., Sing, M., Bhalla, P. (2022). Biological parts for engineering abiotic stress tolerance stress in plants. *Bioengineering Research*, 41 p. <https://doi.org/10.34133/2022/9819314>

16. Meca, A., Schwarts, S. (2024). Cultural stress theory: an overview. *Cultural Diversity and ethnic minority. Phisiology*, (4), 603-612 <https://doi.org/10.1037/cdp0000704>
17. Paolis, A.D., Frugis, G., Giannino, D., Iannelli, M.A., Mele, G., Rugini, E., Silvestri, C., Sparvoli, F., Testone, G., Mauro, M.L., Nicolodi, C., Caretto, S. (2019). Plant cellular biotechnology: following mariotti's steps. *Plants*, 8(1), 18 <https://doi.org/10.3390/plants8010018>
18. Moukhtari, A.R., Cabassa – Hourton, C., Farissi, M., Savourè, A. (2020). How does proline treatment promote salt stress tolerance during crop plant development? *Frontiers in Plant Science*, 11, 1127 <https://doi.org/fpls.2020.01127>
19. Renzetti, M., Funk, D., Trovato, M. (2025). Proline and ROS: a unified mechanism in plant development and stress response. *Journals Planrs*, 14(1), 2 <https://doi.org/10.3390/plants14010002>
20. Sergeeva, L.E., Bronnikova, L.I. (2019). Cadmium ions in cel selection for obtaining wheat cell forms tolerant to water stress. *Bulletin Cherkasky University, Series Biology*, 2, C.74 - 80 <https://doi.org/10.31651/2076-5835-2018-1-2019-2-74-80>
21. Segeeva, L.E., Bronnikova, L.I. (2020). Cell selection with barium ions for obtaining genetically modified tobacco. *Bulletin Cherkasky University, Series Biology*, 1, C.71 – 78 <https://doi.org/10.31651/1076-5835-2018-1-2020-1-71-78>
22. Slemi, N., Kouki, R., Ammar, M.H., Ferrera, R., Perez – Clemete, R. (2021). Barium effecr on germinanation plant rowth and antioxidant enzymes in *Cucumis sativus* L. *Food science and nutrition*, 9(4), P. 2086 – 2094 <https://doi.org/10.1002/fsn3.2177>
23. Yuan, T.T., Xiang, Z.X., Li, W., Gao, X., Lu, Y.T. (2021). Osmotic stress represes root growth by modulating the transcriptional regulation of *NIP-FORMED3*. *New Phytology*, 232(1), 1661-1673 <https://doi.org/10.1111/nph.17687>

РІДКІСНІ ТА ЗНИКАЮЧІ ВИДИ ТРАВ'ЯНИСТИХ РОСЛИН, ЩО ЗРОСТАЮТЬ У ЛІСОПАРКУ ДРУЖБИ НАРОДІВ (М. ДНІПРО)

І. Г. Сущенко¹, А. М. Кабар¹, М.О. Квітко^{1,2}, Ю. В. Лихолат¹

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

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

Анотація. Для червонокнижних рослин Дніпропетровської області з кожним роком все більше уваги повинно приділятися саме захисту ареалів видів, що зростають на теренах міст – в урбоценозах. Їхній статус та екологічна цінність мають безпосереднє значення для зміцнення фітоценотичних зв'язків між рослинами у навколишньому середовищі. Рослини природних фітоценозів, які збереглися в парковій зоні м. Дніпро пристосувалися до таких жорстких умов за рахунок змін, які відображаються у функціонуванні рослинних організмів. Завдяки цьому можуть зростати тільки види, що набули адаптивних здібностей до умов довкілля. Так, у лісопарку Дружби народів збереглися у первинному стані ділянки природних фітоценозів до складу яких входять рідкісні види рослин, що відносяться до степової, лучної та болотної рослинності. Відповідно до закону України “Червона книга України” від 7 лютого

2002 року до даної категорії рослин ми віднесли перелік видів рослинного світу, що перебувають під загрозою зникнення. На основі проведених досліджень по даному парку був складений інвентаризаційний список рідкісних та зникаючих трав'янистих рослин.

Ключові слова: промислове місто, паркова зона, червонокнижні рослини, рідкісні та зникаючі види.

RARE AND ENDANGERING SPECIES OF HERBAL PLANTS GROWING IN THE FOREST PARK OF PEOPLE FRIENDSHIP (DNIPRO CITY)

I.G. Sushchenko¹, A. M. Kabar¹, M.O. Kvitko^{1,2}, Yu. V. Lykholat¹

¹ *Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine*

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

Abstract. For the Red Book plants of the Dnipropetrovsk region, more and more attention should be paid every year to the protection of the habitats of species growing in urban areas – in urban communities. Their status and ecological value are of direct importance for strengthening phytocenotic relationships between plants in the environment. Plants of natural phytocenoses that have survived in the park zone of the city of Dnipro have adapted to such harsh conditions due to changes that are reflected in the functioning of plant organisms. Due to this, only species that have acquired adaptive abilities to environmental conditions can grow. Thus, in the Druzhby narodiv forest park, areas of natural phytocenoses have been preserved in their original state, which include rare plant species belonging to steppe, meadow and swamp vegetation. In accordance with the law of Ukraine "Red Book of Ukraine" of February 7, 2002, we have included a list of plant species that are under threat of extinction in this category of plants. Based on the research conducted in this park, an inventory list of rare herbaceous plants was compiled.

Key words: industrial city, park area, Red Book plants, rare and endangered species.

Вступ. Дніпропетровщина – це один із найбільш розвинутих промислових регіонів України, де функціонування промислових підприємств супроводжується викидами в навколишнє середовище значної кількості поллютантів [5, 6, 13]. Ситуація усугубляється викидами автотранспорту, кількість яких постійно збільшується [3]. Дія забруднюючих речовин відображається на стані рослинного [10], тваринного світу [8, 11, 15] та призводить до підвищення рівня захворюваності людей [9, 10, 12], яке вже дійшло до критичної межі екологічної стійкості та потребує впорядкування цієї взаємодії між живими організмами та довкіллям [4, 7, 14]. В таких умовах особливу стурбованість викликають рідкісні та зникаючі види, які відповідно до закону України "Червона книга України" від 7 лютого 2002 року перебувають під загрозою зникнення. На Дніпропетровщині їх перелік нараховує 66 видів.

Мета роботи. У зв'язку з вищенаведеними матеріалами, мета нашої роботи – виявлення та подальше формування інвентаризаційного списку рідкісних та зникаючих видів рослин, які зростають у лісопарку Дружби народів (м. Дніпро), з урахуванням їх еколого-біологічної характеристики.

Матеріали та методи досліджень. Враховуючи той факт, що на території великих міст потенційний ареал рідкісних та зникаючих видів рослин, як правило може бути набагато меншим у порівнянні з невеликими осередками природних мі-

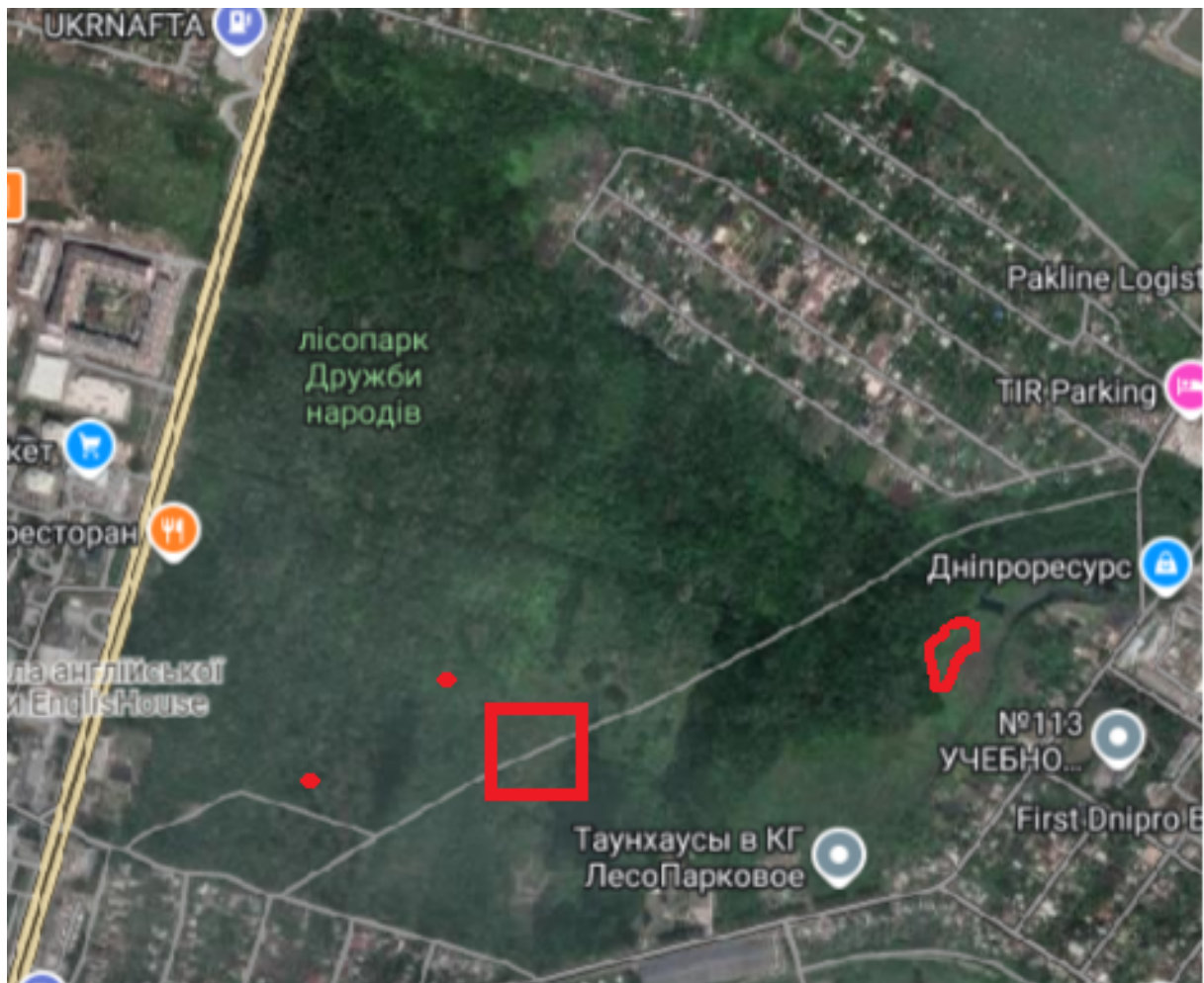


Рис. 1: Загальне розташування ареалів місцезростань червонокнижних видів у лісопарку Дружби народів (обведені червоною лінією)

Figure 1. General location of habitats of Red Book species in the Friendship of Peoples Forest Park (circled with a red line)



Рис. 2: Ареали місцезростань та поодинокі куртини (обведено червоною лінією) сну лучного *Pulsatilla pratensis* на мапі парку

Figure 2. Habitat areas and individual thickets (circled with a red line) of meadow pasqueflower *Pulsatilla pratensis* on the park map

сцезростань, нами було прийнято рішення про обстеження найбільшого лісопарку на території міста Дніпро на предмет наявності даної категорії рослин.



Рис. 3: **Сон лучний** а), б) куртини сну лучного із квітками; в) квітка сну лучного, г) рослини сну лучного із плодиками 14.04.24.

Figure 3. **Son luchnyi** а), б) meadowsweet curtains with flowers; в) meadowsweet flower, г) meadowsweet plants with fruitlets 14.04.24.

Парк розташований у північній частині міста Дніпро і його площа складає 98 га і представляє собою ділянку у формі трапеції на рівнинній місцевості з невеликим постійним уклоном з південної сторони у напрямку півночі. Він обмежений на заході Слобожанським проспектом, на півдні вул. Магдалинівською, на півночі водовідвідним каналом іригаційної системи, що впадає у озеро площею близько 200 м² на північно-східній частині парку, де утворюються верхове болото, а на сході – продовженням каналу навпроти вул. Криничної та приватної забудови. Деревна рослинність парку попередньо висаджена поквартально. Дослідження проводилися з використанням стандартних геоботанічних методик [2, 12].

Результати та їх обговорення. У ході огляду центральної частини парку, що представлена угрупованнями ксерофітних злаково-різнотравних степів (*Salvia nemorosae-Festucetum*; *Festuca valesiaca*. *F. rupicola*) [14] нами були виявлені численні куртини представників родини Жовтецевих *Ranunculaceae* – сону лучного *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. s.l.), який внесений до Червоної книги України і має природоохоронний статус “неоцінений” (рис. 1, 2, 3, 4).

Це трав'яниста багаторічна рослина заввишки від 10 до 40 см, що має тричі-перисторозсічені листки, які з'являються до або одночасно зі цвітінням. Поодинокі темно-фіолетові квітки діаметром від 2 до 4 см є пониклими та мають вузьку дзвоникоподібну форму з 6 листочками оцвітини опушеними ззовні, яйцеподібної чи обернено-яйцеподібної форми.

У другій половині травня нами було обстежено болотяну частину лісопарку. На території у 10 га мозаїчно розташовані декілька угруповань рослин з типових луків, що відповідають наступним зональним біотопам.

У південній та південно-західній частині вона представлена мезофітними луками пасовищного використання (*Cynosurion cristati*) на збіднених легких піщаних відкладах, що переходять у вологі луки пасовищного використання (*Potentillo-polygonetalia avicularis*) в центрі ділянки, а на північній межі біля лісового біотопу у евтрофні та мезотрофні вологі сінокісні луки (*Deschampsion cestiposae*), між ними знаходяться у пони́ззі рельєфу площею близько 200 м² сінокісні луки (*Arrenatherion elatioris*) на багатих дерново-глейових ґрунтах [6].

Підчас огляду саме цього біотопу було виявлено популяцію з близько 80 особин



Рис. 4: **Сон лучний** (*Pulsatilla pratensis*) а) квітка сну лучного; б) група рослин сну лучного із плодиками. 25.04.24.

Figure 4. ***Pulsatilla pratensis*** а) Meadowsweet catkin; б) group of Meadowsweet plants with fruit. 25.04.24.

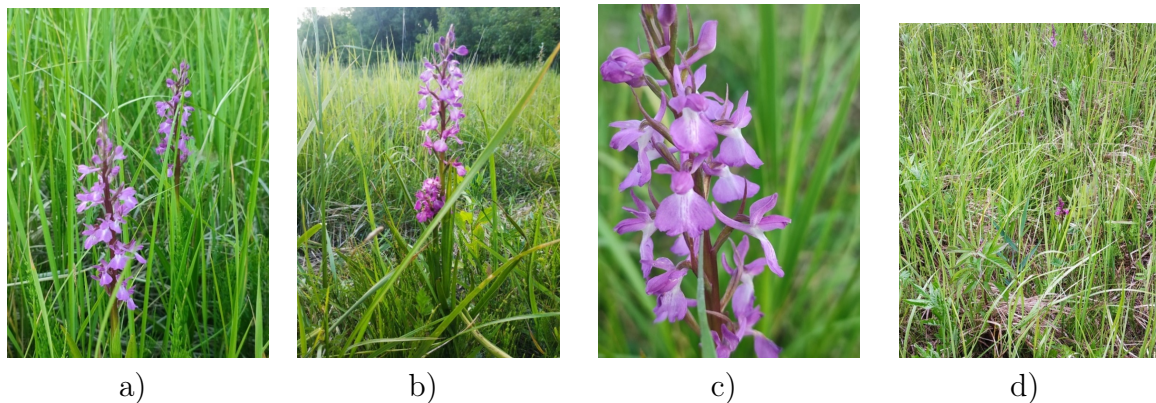


Рис. 5: **Плодоріжка болотна** (*Anacamptis palustris*) а) габітус рослини б) рослина із суцвіттям типу “колос”; с) квітки крупним планом; д) популяція рослин плодоріжки болотної

Figure 5. ***Anacamptis palustris*** а) plant habit б) plant with spike-like inflorescence; с) close-up of flowers; д) population of Marsh marigold plants

представника родини Зозулинцеві *Orchideacea*, а саме плодоріжки болотної (*Anacamptis palustris* (Jacq.) R. M. Bateman, Pridgeon et M.W. Chase). Це трав'яниста багаторічна рослина, що утворюється з овальної бульби, від 18 до 30 см заввишки із порожнистим стеблом та лінійно ланцетним листям та має колосоподібне суцвіття із негустими пурпуровими квітами. Губа квітки неглибоко трилопатева, розпростерта, довжиною 8-12 мм, середня лопать трилопатева широка і перевищує бічні (рис. 5, 6).

Висновок. Проведені дослідження з виявлення та фіксації ареалів місцезростань рідкісних рослин, є важливим для розуміння їх адаптації до антропогенно зміненого середовища [7]. Рослини з ЧКУ обох видів, що були нами зафіксовані впродовж періоду вегетації виглядали цілком здоровими, та утворили плодики, що свідчить про можливість їхнього поширення та утворення нових генерацій та ареалів місцезростань цих видів трав'янистих рослин.



Рис. 6: Ареал місцезростання (обведено червоною лінією) – *Anacamptis palustris* на мапі парку

Figure 6. The area of growth (circled with a red line) of the *Anacamptis palustris* on the park map

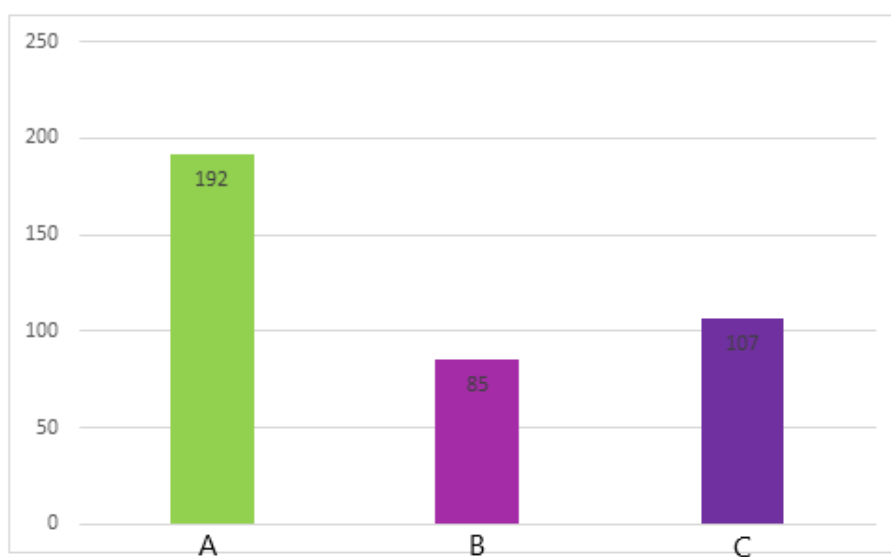


Рис. 7: Популяції червонокнижних рослин лісопарку Дружби народів, м.Дніпро, 2024 р. Кількісне порівняння

Примітка: А – загальна кількість червонокнижних видів; В – Плодоріжка болотна *Anacamptis palustris*; С – Сон лучний *Pulsatilla pratensis*

Figure 7. Populations of Red Book plants of the Friendship of Peoples Forest Park, Dnipro, 2024. Quantitative comparison

Note: A – total number of Red Book species; B – *Anacamptis palustris*; C – *Pulsatilla pratensis*

Проте присутнє занепокоєння стосовно найбільших ареалів популяцій плодоріжки болотної та сну лучного, адже популяції цих рослин знаходяться у місцях активного відпочинку (кемпінгу) відвідувачів лісопарку біля основних доріжок з використанням відкритого вогню, як в середині парку, так і на торф'яних луках біля болота та водойми меліоративного каналу. Це може викликати пошкодження рослин, також цьогоріч було зафіксовано кілька пожеж, одна з яких відбулася неподалік основної популяції сну лучного і охоплювала щонайменше 1 га території, яка попередньо виникла через непогашене вогнище, що теж несе вже пряму загрозу червонокнижним рослинам, але варто зауважити, що актив свідомого вандалізму з підпалу підстилки з сухих рештків рослин збоку відвідувачів лісопарку не зареєстровано. Тому керуючись діючими положеннями згідно законодавства України, ми рекомендуємо надати даному парку відповідний охоронний статус, який би унеможлиблював будь-яку активну господарську діяльність або дозволя, що може нашкодити у ареалах місцезростань виявлених рідкісних рослин.

References

1. Afanas'yev, S. V., & Lykholat, O. A. (2005). Rehional'ni osoblyvosti vil'noradykal'noho okysnennya lipidiv ta antyoksydantnoyi systemy u khvorykh na khronichnyy pankreatyt. *Med. khimiya*, 7(1), 33-36. (in Ukrainian).
2. Didukh, Y.P. (2020). Biotopes of Steppe zone of Ukraine / Ed. Acad. of the National Academy of Sciences of Ukraine Y.P. Didukh. Kyiv. Chernivtsi: DrukArt. https://www.botany.kiev.ua/doc/diduch_biotopy.pdf (in Ukrainian).
3. Ivanchenko, O. E., & Bessonova, V. P. (2016). Indication of the condition of woody plants of parks in Dnipropetrovsk on morpho-physiological indexes. *Biosystems Diversity*, 24(1), 109-118. <https://doi.org/10.15421/011613>
4. Korshykov, I. I., Suslova, O. P., & Petrushkevych, YU. M. (2020). *Derevni roslyny v umovakh promyslovykh mist Stepu: monohrafiya*. Odesa: Vydavnychyy dim "Hel'vetyka". (in Ukrainian).
5. Kvitko, M., Savosko, V., Kozlovskaya I., Lykholat Y., Podolyak A., Hrygoruk I., Karpenko A. (2021). Woody artificial plantations as a significant factor of the sustainable development at mining & metallurgical area [Electronic resource] / E3S Web of Conferences. 280, 06005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128006005>
6. Lykholat, Yu. V., & Hryhoryuk, I. P. (2005). Vykorystannya dernoutvoryuyuchykh trav dlya diahnostryky rivnya zabrudnennya navkolyshn'oho seredovyshcha vazhkymy metalamy. *Dopovidi NANU*, (8), 196-200. (in Ukrainian).
7. Lykholat, Yu. V., Khromykh N. O., Didur O. O., Okovytyy S.I., Matyukha V.L., Savos'ko V.M. & Lykholat T.Yu. (2019). Suchasnyy stan antropohennoyi transformtsiyi ekosystem stepovoho prydniprov"ya. Vydavnychyy dim Chernyavs'ky D., Kryvyi Rih. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31812/123456789/3644>
8. Lykholat, T. Yu., & Lykholat, O. A. (2016). Vplyv syntetychnykh estroheniv na pokaznyky prooksydantno-antyoksydantnoyi systemy orhaniv shchuriv riznogo viku v doslidakh in vitro. *Biologichni systemy*, (8, Vyp. 1), 8-14. (in Ukrainian).
9. Lykholat, T.Yu., Lykholat, O. A., Marenkov, O. M., Kulbachko, Yu. L., Kovalenko, I. M., & Didur, O. O. (2019). Xeneostrogenes influence on cholinergic regulation in female rats of different age. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (1), 240–243.

<https://www.ujecology.com/articles/xeneostro-genes-influence-on-cholinergic-regulation-in-female-rats-of-different-age.pdf>

10. Lykholat, Y. V., Khromykh, N. A., Didur, O. O., Alexeyeva, A. A., & Lykholat, T. Y. (2020). Modification of the epicuticular waxes of plant leaves due to increased sunlight intensity. *Biosystems & Biodiversity*, 28(1), 29-33. <https://doi.org/10.15421/012005>
11. Pokhylenko, A., Lykholat, O. A., Didur, O. O., Kulbachko, Yu. L., & Lykholat, T. Y. (2019). Morphological variability of *Rossiulus kessleri* (Diplopoda, Julida) from different biotopes within the steppe zone of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 176–182. <https://www.ujecology.com/abstract/morphological-variability-of-rossiulus-kessleri-diplopoda-julida-from-different-biotopes-within-steppe-zone-of-ukraine-18973.html>
12. Ponomarenko, L. A., Lykholat O. A. & Ponomarenko O. A. Zminy pokaznykiv okysnoho homeostazu u khvorykh na kyslotozaleznyi zakhvoryuvannya pry likuvanni. *Medychna ta klinichna khimiya*. 2018. 20, 3. S. 84-89. DOI 10.11603/mcch.2410-681X.2018.v0.i3.9570 (in Ukrainian).
13. Savosko, V., Komarova, I., Lykholat, Yu., Yevtushenko, E. & Lykholat, T. (2021). Predictive Model of Heavy Metals Inputs to Soil at Kryvyi Rih District and its Use in the Training for Specialists in the Field of Biology. *Journal of Physics Conference Series*, 1840, 012011. DOI: 10.1088/1742-6596/1840/1/012011
14. Tarasov, V. V. (2005). *Flora Dnipropetrovs'koyi ta Zaporiz'koyi oblastey. Sudynni roslyny. Biolohe-ekolohichna kharakterystyka vydiv*. D.: Vyd-vo DNU. (in Ukrainian).
15. Yermishev, O., Lykholat, T. & Lykholat, O. (2017). Effect of alimentary synthetic estrogen on cell compensatory mechanisms in rats of different ages. *Biologia*, 63 (2), 152-159. DOI:10.6001/biologija.v63i2.3526

CONSERVATION OF THE DIVERSITY OF BOTANICAL GARDEN COLLECTIONS USING IN VITRO TECHNIQUES: A CASE STUDY OF *MORUS RUBRA* L.

V. U. Akhmedova¹, H. K. Juraeva¹, A. T. Khazratov¹, F. U. Mustafina¹, S. Kh. Abdinazarov¹

¹ *Tashkent Botanical garden named after acad. F.N.Rusanov of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Abstract. This article presents the results of the development of in vitro propagation protocols for species represented in the collection of the Tashkent Botanical Garden. The explants of *Morus rubra* L. from the botanical garden collection were introduced into culture using the in vitro method, with the influence of various phytohormones tested to optimize plant regeneration. For explant introduction, WPM (Woody Plant Medium) with 30% sucrose and 0.2 mg/l BAP was selected as the most effective nutrient medium. Rhizogenesis was successfully stimulated on a nutrient medium supplemented with 0.5 mg/l IBA. Following the successful development of root systems, a gradual acclimatization process was employed to help the plants adapt to greenhouse conditions. Initially, the

plants were transferred to moist vermiculite in covered containers and kept in growth chambers for 1–2 weeks under controlled environmental conditions to minimize transplant shock and promote root system strengthening. Following this, the plants were transplanted into a peat-based substrate, kept covered to maintain high humidity, and incubated in growth chambers. Over time, the covers were gradually removed to allow the plants to adjust to ambient humidity and temperature fluctuations. This gradual acclimatization process significantly improved the survival rates and ensured the successful establishment of *Morus rubra* L. plants under ex vitro conditions, demonstrating the effectiveness of the developed in vitro propagation protocol for this species.

Key words: botanical garden, *in vitro* propagation, *Morus rubra* L.

ЗБЕРЕЖЕННЯ РІЗНОМАНІТТЯ КОЛЕКЦІЙ БОТАНІЧНИХ САДУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДИКИ *IN VITRO*: ПРИКЛАД *MORUS RUBRA* L.

В. У. Ахмедова¹, Х. К. Джураєва¹, А. Т. Хазратов¹, Ф. У. Мустафіна¹, С.
Х. Абдиназарова¹

¹ Ташкентський ботанічний сад імені акад. Ф.Н.Русанова Інституту ботаніки Академії наук Республіки Узбекистан

Анотація. Ця стаття представляє результати розробки методу розмноження *in vitro* видів, представлених у колекції Ташкентського ботанічного саду. Експланти *Morus rubra* L. з колекції ботанічного саду були введені в культуру за допомогою методу *in vitro* під впливом різних фітогормонів. WPM (Woody Plant Medium) із 30% сахарози та 0,2 мг/л ВАР був обраний як найбільш ефективне поживне середовище для введення експлантів. Ризогенез стимулювався на поживному середовищі з ІМК (0,5 мг/л).

Для поступової акліматизації до тепличних умов рослини з кореневою системою спочатку переміщували у вологий вермікулит у закритих контейнерах і тримали в камерах росту протягом 1–2 тижнів. Після цього рослини пересаджували в субстрат на основі торфу, утримували під накриттям і інкубували в камерах росту. З часом покриття поступово знімали, щоб дозволити рослинам адаптуватися до навколишньої вологості та коливань температури. Цей поступовий процес акліматизації значно покращив рівень виживаності та забезпечив успішне укорінення рослин *Morus rubra* L. в умовах ex vitro, демонструючи ефективність розробленого протоколу *in vitro* розмноження для цього виду.

Ключові слова: ботанічний сад, розмноження *in vitro*, *Morus rubra* L.

Introduction. Plant biotechnology plays a crucial role in conserving rare and endangered plant species. Many botanical gardens implement programs to establish and maintain cell and tissue culture collections. Such initiatives have been successfully developed and are actively maintained in various countries. In vitro collections of cells, organs, and whole plants, along with cryobanks, have been established to preserve plant material from diverse taxonomic groups in liquid nitrogen. These ex situ conservation methods help mitigate biodiversity loss due to habitat destruction, climate change, and human activities.

Several specimens within these collections are considered national treasures, including rare and legally protected plant species. For example, the National Clonal Germplasm Repository of the USDA in Corvallis, Oregon, safeguards 500,000 samples of economically significant, rare, and endangered plants from 10,000 species. Similarly, in Germany, more than 700 cell culture lines from 80 plant families are preserved, many of which produce pharmacologically valuable secondary metabolites [13]. Other countries, such as China

and Japan, have also invested in large-scale *in vitro* conservation programs, focusing on medicinal, ornamental, and food crop species to ensure their long-term availability and sustainability.

Beyond conservation, *in vitro* biotechnology is an essential tool for plant breeding, genetic improvement, and the mass propagation of economically valuable species. By using micropropagation, plants can be rapidly multiplied under sterile conditions, ensuring the production of disease-free and genetically stable clones. This technique is particularly beneficial for species that are difficult to propagate by conventional means or have low seed viability [7]. Moreover, the combination of *in vitro* culture with molecular markers and cryopreservation techniques enhances conservation strategies, allowing researchers to store germplasm long-term and revive species when needed [6].

This article presents the results of research on the development of *in vitro* microcloning protocols for propagating plants represented as a single sample at the Tashkent Botanical Garden of the Republic of Uzbekistan, using *Morus rubra* L. as an example. The study aims to optimize sterilization, culture media composition, and acclimatization procedures to facilitate the successful introduction of selected species into *in vitro* culture. By refining these protocols, researchers contribute to the sustainable conservation and restoration of valuable botanical specimens, ensuring their survival for future generations.

Research object. A species from the North American flora of the Tashkent Botanical garden exhibit was selected as the research object.

Morus rubra L. (Moraceae Gaudich.) is commonly known as the mulberry or fig family. This family comprises about 40 genera and over 1,100 species, including economically and ecologically significant trees, shrubs, and climbing plants. The family is primarily distributed in tropical and subtropical regions, but some species, such as *Morus rubra*, are adapted to temperate climates.

Morus rubra L., commonly known as red mulberry, is a deciduous tree or large shrub native to North America, particularly in the eastern and central United States. It typically grows 10–20 meters tall, with a short trunk and a broad, spreading canopy. The bark is brownish-gray and develops shallow fissures with age [12].

The object of this work. *In vitro* propagation of species from the botanical garden collection, represented by a single specimen, particularly *Morus rubra* L., which grows in the North America exhibit of the Tashkent Botanical Garden.

Materials and Methods. Different parts of the plant were used as explants for *in vitro* reproduction of the selected species to determine the most effective tissue for micropropagation and optimize regeneration efficiency. The choice of explants plays a crucial role in the success of *in vitro* culture, as different tissues exhibit varying levels of responsiveness to growth regulators and environmental conditions.

Apical and lateral buds, as well as buds from 1-year-old branches, were selected as explants due to their high regenerative potential and ability to form new shoots. These meristematic tissues are known for their rapid cell division and differentiation, making them ideal for microcloning [1].

The apical bud was cut, leaving two pairs of lateral buds intact. To promote efficient shoot formation, an oblique incision was made at the site of the opposite lower second pair of lateral buds, and one of the lateral buds was removed. This technique was employed to encourage lateral shoot development while reducing competition for nutrients and hormones.

Additionally, experiments were conducted using nodal segments, internodal stem sections, and leaf explants to assess their regeneration capacity. However, apical and lateral buds showed the highest survival rate and the most robust shoot development, making them the preferred explant sources for *Morus rubra* L.

Results and discussion. Optimization of sterilization. To develop an optimized sterilization protocol, various sterilizing agents were evaluated to determine the most effective combination for minimizing fungal and bacterial contamination of explants. The effectiveness of these agents was assessed based on their ability to eliminate contaminants while maintaining high explant viability.

The tested sterilizing agents included:

Chemical disinfectants: Sodium hypochlorite (4–6%), hydrogen peroxide (2–15%), silver nitrate (0.01%), Tween 20, ethanol (70%), and commercial disinfectants such as “Belizna” (containing 18% sodium hypochlorite) and “Domestos” sterilizing soap.

Fungicides: Difenconazole (“Score” 250EC, 23.3% v/v), mancozeb and metalaxyl (“Ridomil Gold”, 64% v/v and 4% v/v, respectively), fludioxonil (“Maxim”, 9.3% v/v), and propiconazole (“Agrotilt”, 25% v/v). These were tested for their efficacy in controlling fungal contamination.

Antibiotics: Streptomycin, amoxicillin, ceftriaxone, and gentamicin, applied at concentrations ranging from 1 to 4 ml/l, were used to address bacterial infections.

A total of over 30 sterilization protocols were assessed, utilizing different concentrations, exposure times, and combinations of sterilizing agents. The protocols were designed to strike a balance between effective microbial control and maintaining tissue viability. Several treatment variations were tested, including sequential washes, varying immersion durations, and combining multiple sterilizing agents[9].

Selection of the nutrient media. Ready-made nutrient media of Duchefa Biochemie B.V (<https://www.duchefa-biochemie.com>) production were used in accordance with the protocols by Murashige and Skoog (1962) (MS), Chu et al (1975) (N6), Gamborg et al (1968) (B5), McCown Woody Plant Medium (Lloyd and McCown, 1980) (WPM) (Lloyd and McCown, 1980), and DKW Medium (Driver and Kuniyuki, 1984; McGranahan et al, 1987). During further cultivations, antibiotics were not added to the nutrient medium since no signs of fungal or bacterial infections were observed.[2,3,5]

Selection of the phytohormones. Auxins 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D), indolylacetic acid (IAA), α -naphthylacetic acid (NAA), indolylbutyric acid (IBA), cytokinins kinetin (Kin), 6-benzylaminopurine (BAP), thidiazuron (TDZ), and Zeatin (Zea) were used to find optimal phytohormones for *in vitro* micropropagation[8].

Summary. Optimization of the Sterilization Protocol and *In Vitro* Micropropagation of *Morus rubra* L.

Among the tested sterilization agents, up to 80% of the explants remained viable, demonstrating the effectiveness of the optimized protocol in minimizing microbial contamination while maintaining tissue viability. The most effective sterilization protocol identified involved a multi-step treatment to ensure maximum decontamination of fungal and bacterial pathogens. The optimized sterilization procedure included the following steps: (1) Explants were initially immersed in a 25% sterilizing soap solution for 20–30 minutes to remove surface contaminants, such as dust, debris, and microorganisms. (2) The samples were thoroughly washed with distilled water to eliminate soap residues. (3) Explants were then placed in a 0.01% fungicide solution containing propiconazole ($20 \times 10^{-4}\%$) to target fungal spores and infections. (4) After another thorough rinse with distilled water (2–3 times), the explants were subjected to a deeper sterilization step. (5) Immersion in a 2% Belizna solution (sodium hypochlorite-based) for 15 minutes was performed to eradicate bacteria and fungi on plant surfaces. (6) Three additional washes with distilled water ensured the removal of residual sterilizing agents. (7) The explants were briefly immersed in 70% ethanol for 30 seconds, an effective step for eliminating residual pathogens and breaking down microbial cell walls. (8) Three washes with sterilized autoclaved water were performed to neutralize any remaining traces of disinfectants before the explants

were transferred to the culture medium. The sequential application of different sterilizing agents helped achieve a balance between efficient microbial decontamination and high explant survival rates, making this protocol suitable for large-scale *in vitro* propagation of *Morus rubra* L.

For the successful development of mature plants through *in vitro* micropropagation, a carefully optimized nutrient medium was selected based on the growth requirements of *Morus rubra* L. WPM (Woody Plant Medium) was identified as the most effective base medium for shoot initiation and development. Cytokinin supplementation with 6-Benzylaminopurine (BAP) at 0.2 mg/l significantly enhanced shoot formation, with superior results compared to other concentrations. BAP promoted multiple shoot induction and increased the number of axillary buds per explant. For root induction, Indole-3-butyric acid (IBA) at 0.5 mg/l was used, which facilitated robust root development, ensuring a higher survival rate during the acclimatization phase [4].



Figure 1: *Morus rubra* L. Adaptation of the plant to soil.

Adaptation. To help plants gradually adapt to greenhouse conditions, those with well-developed root systems were first transplanted into moist vermiculite inside covered containers and kept in growth chambers for 1–2 weeks under controlled temperature, humidity, and light conditions. This gradual transition helped strengthen the root system and reduce transplant shock. After this period, the plants were transferred to a peat-based mixture, kept covered to maintain high humidity levels, and incubated in growth chambers for further acclimatization. Over time, covers were gradually removed to allow plants to adjust to ambient humidity and environmental fluctuations before being fully transferred to the greenhouse (fig. 1). The stepwise acclimatization process significantly

improved the survival rates of *in vitro*-cultured *Morus rubra* L. plants, ensuring successful establishment under *ex vitro* conditions.

Conclusions. Biotechnology laboratory of the Tashkent Botanical Garden of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan: "Development of Scientific Foundations for the Sustainable Propagation of Valuable Specimens of the Botanical Garden in *In Vitro* Culture"(2023–2024), and within the framework of the state program "Establishment and Digital Documentation of the *in Vitro* Collection of the Tashkent Botanical Garden Using Innovative Biotechnology Methods scheduled for implementation from 2025 to 2029.

References

1. Bulunuz Palaz E., Ugur R. *Establishing an effective protocol for micropropagation of mulberry (Morus nigra L.)*. East Mediterranean Transitional Zone Agricultural Research Institute, Kahramanmaras, Turkey
2. Chu CC, Wang CC, Sun CC, Hsu C, Yin KC, Chu, CY, Bi F-Yu. (1975) Establishment of an efficient medium for another culture of rice through comparative experiments on the nitrogen sources. *Scientia Sinica*. 18(5):659-668 doi.org/10.1360/ya1975-18-5-659
3. Chu CC. (1978) The N6 medium and its application to anther culture of cereal crops. *Proceedings of Symposium on Plant Tissue Culture*. 25-30.05. Science Press: Peking. P. 45-50
4. Driver JA, Kuniyuki AH. (1984) *In vitro* propagation of *Paradox walnut* rootstock. *Hort Sci* 19(4):507-509 doi.org/10.21273/HORTSCI.19.4.507
5. Gamborg OL, Eveleigh DE. (1968) Culture methods and detection of glucanases in cultures of wheat and barley. *Canad J Bioch.* 46:417–421 doi.org/10.1139/o68-063
6. Lloyd G, McCown BH. (1980) Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. *Int Plant Propag Soc Proceed.* 30:421–427
7. McGranahan GH, Driver JA, Tulecke W. (1987) Tissue culture of *Juglans*. *Cell and tissue culture in forestry: case histories: gymnosperms, angiosperms and palms*. Dordrecht: Springer Netherlands: 261-271.
8. Murashige I, Skoog F. (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Plant Phys.* 15(3):473-497 doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x
9. Mustafina FU, Juraeva HK, Jamalova DN, Hazratov AT, Janabaeva AJ, Kim HJ, Na ChS, Lee MS, Oh YJ, Tojibaev KSh, Abdinazarov SKh. (2024) Conservation potential through *in vitro* regeneration of two threatened medicinal plants, *Ungernia sewertzowii* and *U. victoris*. *Plants*. 13(14):1966 doi.org/10.3390/plants13141966
10. "Morus rubra". County-level distribution map from the *North American Plant Atlas (NAPA)*. Biota of North America Program (BONAP). 2014
11. Shah M, Ullah MA, Drouet S, Younas M, Tungmunthum D, Giglioli-Guivarc HN, Hano Cabbasi BH. (2019) Interactive effects of light and melatonin on biosynthesis of silymarin and anti-inflammatory potential in callus cultures of *Silybum marianum* (L.) Gaertn. *Molecules*. 24(7):1207 doi.org/10.3390/molecules24071207

12. Wunderlin, R.P. (1997). "*Morus rubra*". In *Flora of North America Editorial Committee* (ed.). *Flora of North America North of Mexico (FNA)*. Vol. 3. New York and Oxford: Oxford University Press – via eFloras.org, Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO & Harvard University Herbaria, Cambridge, MA
13. Velioglu YS, Mazza G, Gao L, Oomah BD. (1998) Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *J Agric Food Chem.* 46: 4113–4117 doi.org/10.1021/jf9801973

CONSERVATION OF THE DIVERSITY OF BOTANICAL GARDEN COLLECTION WITH THE USE OF *IN VITRO* TECHNIQUES WITH EXAMPLE OF *PTELEA TRIFOLIATA* L. (RUTACEAE JUSS.)

A. T. Khazratov¹, H. K. Juraeva¹, V. U. Akhmedova¹, F. U. Mustafina¹, S. Kh. Abdinazarov¹

¹ *Tashkent Botanical garden named after acad. F.N. Rusanov of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

Abstract. This article presents the results of in vitro propagation of *Ptelea trifoliata* L. from the collection at Tashkent Botanical Garden. *In vitro* propagation plays a key role in conserving threatened plant species, as many species face increasing extinction risks due to environmental changes and human activities. To address this, the Biotechnology Laboratory at the Institute of Botany in Tashkent has initiated a program focused on the in vitro preservation of plant species, including those at risk of extinction. The collection includes both plants from natural habitats and specimens maintained within the Botanical Garden.

Several culture media were tested for their effectiveness in supporting the in vitro propagation of *Ptelea trifoliata*. Among the options evaluated, McCown's Woody Plant Medium (WPM) with additional vitamins from Duchefa Biochemie B.V. was identified as the most suitable for this species. WPM, specifically designed for woody plants, provided an optimal nutrient composition that promoted healthy growth and development of the plant material. This medium was further enriched with plant growth regulators, including indole-3-butyric acid (IBA), 1-naphthaleneacetic acid (NAA), and 6-benzylaminopurine (BAP), to stimulate optimal root and shoot development.

In conclusion, this study demonstrates the successful in vitro propagation of *Ptelea trifoliata* using McCown's Woody Plant Medium supplemented with IBA, NAA, and BAP. The refined protocol enhances explant viability and facilitates the large-scale propagation of this species, making it a valuable tool for conservation and large-scale propagation initiatives. Through tissue culture techniques, this approach offers a sustainable solution to preserve plant biodiversity, ensuring that endangered species are protected for future generations.

Key words: *in vitro* propagation, botanical garden collection.

ЗБЕРЕЖЕННЯ РІЗНОМАНІТНОСТІ КОЛЕКЦІЇ БОТАНІЧНОГО САДУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДИКИ *IN VITRO* НА ПРИКЛАДІ *PTELEA TRIFOLIATA* L. (RUTACEAE JUSS.)

А. Т. Хазратов¹, Х. К. Джураєва¹, В. У. Ахмедова¹, Ф. У. Мустафіна¹, С. Х. Абдіназаров¹

¹ *Ташкентський ботанічний сад імені акад. Ф.Н.Русанова Інституту ботаніки Академії наук Республіки Узбекистан*

Анотація. У статті наведено результати розмноження *Ptelea trifoliata* L. *in vitro* з колекції Ташкентського ботанічного саду. Методи *in vitro* значно підвищують потенціал збереження видів рослин, що знаходяться під загрозою зникнення. Останніми роками все більше видів рослин знаходяться під загрозою зникнення через зміни навколишнього середовища та діяльність людини. У відповідь Біотехнологічна лабораторія Ботанічного саду при Інституті ботаніки в Ташкенті, Узбекистан, ініціювала програму розмноження *in vitro* для збереження великої колекції видів рослин, у тому числі тих, що знаходяться під загрозою зникнення. Ця колекція включає як зразки з природних середовищ існування, так і рослини, які зберігаються в Ботанічному саду.

Серед оцінених живильних середовищ найбільш відповідним було визначено McCown's Woody Plant Medium (WPM – Wood Propagation Media, M0220) з вітамінами від Duchefa Biochemie B.V. Середовище було збагачене індол-3-масляною кислотою (IBA), 1-нафтилоцтовою кислотою (NAA) та 6-бензиламінопурином (BAP) для стимуляції оптимального росту та розвитку. Цей вдосконалений протокол покращує життєздатність експлантів та сприяє ефективному *in vitro* мікророзмноженню, що підтримує зусилля щодо збереження та масового розмноження рослин.

Ключові слова: розмноження *in vitro*, колекція ботанічного саду.

Introduction. The conservation of biological diversity is one of the primary objectives of botanical gardens worldwide. These institutions play a crucial role in preserving plant genetic resources, protecting rare and endangered species, and maintaining biodiversity. All conservation activities related to plant species and varieties are guided by key international agreements and frameworks, including the Convention on Biological Diversity (1995, 2006), the International Botanical Gardens Plant Conservation Program (2000), and the Global Strategy for Plant Conservation (2002), among others [10]. These initiatives emphasize *ex situ* conservation strategies, which involve the preservation of plant genetic material outside its natural habitat [1].

One of the most effective strategies for preserving plant biodiversity is the establishment of an *in vitro* genetic bank, where plant samples are maintained under low-temperature, slow-growth conditions. This method ensures the long-term storage of plant genetic material while minimizing genetic drift and maintaining the integrity of rare and valuable plant species. Compared to traditional vegetative propagation methods, *in vitro* conservation offers several advantages, including:

Independence from climatic conditions, enabling year-round conservation and propagation,

The ability to establish aseptic cultures using minimal explant material, reducing disturbances to wild populations,

Efficient space utilization and reduced labor costs, making it a cost-effective solution for large-scale plant conservation [2].

Modern biotechnological approaches, particularly clonal micropropagation, significantly enhance both large-scale production and the conservation of plant species in *in vitro* collections. This technique is particularly valuable for economically significant perennial crops and for the preservation of rare and endangered species that are difficult to propagate via seeds due to dormancy, low germination rates, or genetic instability. The development of effective clonal micropropagation techniques is a fundamental prerequisite for the establishment of *in vitro* gene banks, ensuring the preservation of valuable plant genetic resources for future generations [5].

In vitro propagation offers many benefits over traditional methods, especially in the

conservation of endangered species. The ability to propagate plants in a controlled environment ensures that genetic material is preserved and can be used for reintroduction into natural habitats. Furthermore, large numbers of plants can be produced quickly, aiding both conservation and research. The protocol developed for *Ptelea trifoliata* is an important contribution to the conservation of this species and provides a foundation for similar efforts with other endangered plants.

The combination growth regulators played a significant role in ensuring successful in vitro micropropagation. IBA and NAA, both auxins, promoted root initiation, while BAP, a cytokinin, facilitated shoot proliferation. This hormone mixture was carefully optimized to ensure the highest viability and growth of explants from *Ptelea trifoliata*, leading to the effective development of new plantlets.

The propagation process began with the collection and sterilization of explants, which were then cultured on the optimized WPM medium. Explant viability was a critical factor for the success of the propagation process, and the refined protocol developed in this study improved explant survival rates. As a result, a higher number of viable plantlets were produced from a single explant, allowing for large-scale propagation in a controlled environment. This protocol, therefore, has significant implications for conservation efforts, as it enables the propagation of *Ptelea trifoliata* at a much larger scale and at a faster rate than traditional methods.

This article presents the results of *in vitro* propagation of *Ptelea trifoliata* L., a single-specimen plant from the Botanical Garden collection. The study explores the potential of in vitro propagation as a tool for the conservation of unique and threatened plant species, demonstrating its effectiveness in maintaining genetic diversity and supporting long-term conservation goals. The findings contribute to ongoing efforts in plant biotechnology and conservation science, highlighting the role of tissue culture techniques in sustainable biodiversity management [8].

The object of this work. The object of this work is the in vitro propagation of *Ptelea trifoliata* L. (hoptree or water ash) from the collection of the Tashkent Botanical Garden. This study focuses on developing and optimizing a tissue culture protocol to promote the conservation and large-scale propagation of *P. trifoliata*, a species that faces environmental pressures and threats to its natural populations. The research aims to identify the most suitable culture medium and hormonal combinations to enhance explant viability, promote optimal growth, and support the conservation of this and potentially other endangered plant species.

Materials and Methods. This study focuses on plant species that are represented by a single specimen within the collection of the Tashkent Botanical Garden named after Acad. F.N. Rusanov, under the Institute of Botany, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

Ptelea trifoliata L., commonly known as common hoptree, wafer ash, stinking ash, and skunk bush, belongs to the Rutaceae (citrus) family. It is native to North America, with distribution across Canada, the United States, and Mexico. This species is a deciduous shrub or small tree characterized by alternate, trifoliate leaves.

Dilutions of *P. trifoliata* are used in homeopathic medicine, where they are considered highly potent. The root bark possesses anthelmintic, antibacterial, antiperiodic, and tonic properties and is often combined with other medicinal compounds to enhance efficacy. The leaves are traditionally applied to treat wounds, including intestinal injuries.

This species is an aromatic shrub or small tree with a rounded crown and a slender, crooked trunk bearing interwoven, ascending branches. When crushed, the bark, foliage, and twigs emit a slightly lemon-like, musky odor. The leaves are trifoliate and deciduous, with each leaflet attached to a petiole up to 2 inches long, while the terminal leaflet

measures up to 2.5 inches in length. The leaflets are obovate, with the midrib of lateral leaflets positioned off-center. The foliage is dark green in summer and turns yellow in autumn. The flowers are small, greenish-white, and appear in clusters among the leaves in April. The fruit is a distinctive wafer-like samara, with broad wings measuring approximately 7/8 inch long by 3/4 inch wide. The species exhibits morphological variation, with leaflets differing in size and shape across different populations (fig. 1).

The species derives its common name from its historical use, where its bitter fruit was reportedly used as a substitute for hops in brewing beer. Additionally, the bitter root bark, similar to other aromatic barks, has been traditionally utilized in herbal medicine. Notably, *P. trifoliata* represents the northernmost New World member of the Rutaceae family.

Method. Classical microcloning methods were used in this research (Butenko, 1964; Kalinin, 1980). As an analogue, the micropropagation protocols of Khajehyar et al. (2024).

Different plant parts were used as explants for microclonal propagation of species: 1. Apical and axillary buds. Annual branches (annual shoots) were used as explants, which were cut from plants in different seasons throughout the year and placed in the refrigerator for 1-7 days [9].

When choosing sterilizing agents when developing a protocol for sterilization of explants of the studied species, solutions of sodium hypochloride (4-6%), hydrogen peroxide (2-15%), silver nitrate (0.01%), Tween20, ethanol (70%) were tested. Belizna sterilizing solution, "Domestos" sterilizing soap, fungicides difenoconazole (Skor), mancozeb and metalaxyl (Ridamill Gold 72%), fludioxonil (Maxim), propiconazole (Agrotilt), antibacterial agents streptomycin, amoxicillin, gentamicin, etc. were used. Thirty protocols with various combinations and concentrations of sterilizing agents were tested [10].

As a nutrient medium, we used ready nutrient media by Duchefa Biochemie B.V (<https://www.duchefa-biochemie.com>): nutrient medium Murashige and Skoog (1962), Chu et al. (1975), Gamborg et al. (1968), McCown Woody Plant Medium (WPM) (Lloyd G. and McCown, 1980) and Wollosova (1979). Antibiotic agents (streptomycin, amoxicillin and gentamicin) were added to the nutrient medium, after which the nutrient medium autoclaved at 2 atm, 126°C for 20 minutes. Nutrient media were poured into 25 ml jars. When optimizing the nutrient medium, various concentrations of sucrose were used (10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%) [3,6].

Results and discussion. A series of experiments were conducted to determine the most suitable nutrient medium for in vitro propagation of *Ptelea trifoliata* L. Among the tested media, McCown Woody Plant Medium (WPM – Wood Propagation Media, M0220) with vitamins from Duchefa Biochemie B.V. was selected as the optimal formulation. This medium has a classical composition of macro- and microelements and contains glycine (2.00 mg/L), myo-inositol (100.00 mg/L), nicotinic acid (0.50 mg/L), pyridoxine hydrochloride (0.50 mg/L), and thiamine hydrochloride (1.00 mg/L). At each stage of microclonal propagation, the medium was supplemented with sucrose (30,000 mg/L) and agar (7,000 mg/L).

Annual shoots of *P. trifoliata* were collected from mature trees and stored under cold stratification conditions in a damp gauze cloth at +5°C. The shoots were then segmented into 7–10 cm sections and subjected to a two-stage sterilization process:

Preliminary washing: The cuttings were washed under running water, placed in a soap solution, and rinsed with distilled water (2–3 times).

Sterilization under laminar flow conditions: The explants were treated sequentially in the following solutions:

Belizna (sodium hypochlorite) with Tween 20

Distilled water rinse

Fungicide propiconazole solution ("Agrotilt")

Silver nitrate solution 70% ethyl alcohol for 60 seconds

Final rinse with distilled water

Microcuttings were prepared in a laminar flow hood before being introduced into in vitro culture. The sterilized shoots were processed by removing the apical bud while retaining two pairs of lateral buds. An oblique incision was made at the base of the second pair of lateral buds, and one of the lateral buds was excised.



Figure 1: **In vitro growth of *Ptelea trifoliata* L.**

For culture initiation, explants were placed on a nutrient medium supplemented with 6-benzylaminopurine (BAP) to induce shoot development. The incubation was conducted under a 16-hour photoperiod (light) and 8-hour dark cycle at a controlled temperature of 23~24°C. Throughout all stages of subculturing, the microcuttings were positioned in the culture container such that the lowest part of the explant was submerged at a depth of 0.5 mm in the nutrient medium, ensuring that the lower bud was also in contact with the medium.

The study successfully optimized an in vitro propagation protocol for *Ptelea trifoliata* L., identifying WPM supplemented with sucrose and as the most effective nutrient medium. The two-stage sterilization method significantly reduced contamination levels, enhancing explant survival rates. Additionally, the inclusion of 6-benzylaminopurine (concentration) facilitated efficient shoot induction under controlled environmental conditions.

The optimal phytohormone options for in vitro culture induction efficiency in WPM medium were as follows:

1. BAP (0.2 mg/l) + NAA (0.05 mg/l)
2. BAP (0.2 - 0.5 mg/l)

The following phytohormones were applied to induce root formation.

1. BAP (0.1 mg/l) + IBA (0.05 mg/l)
2. IBA (0.5 mg/l)
3. IBA (1 mg/l)

Adaptation to soil: peat, sand, humus were mixed in a ratio of 1:1:1. They were kept in a phytotron for 1 – 2 weeks at a temperature of 22°C, 75-80% relative humidity (Rh), 16/8 photoperiod, and 1,000 – 1,300 lux illumination. The relative humidity was gradually reduced to 60%. The plants were transferred from the phytotron to greenhouse conditions.

These findings provide a reliable approach for *ex situ* conservation and mass propagation of *P. trifoliata*, contributing to its preservation and potential horticultural applications.

Summary. *Sterilization Protocol*: Among the tested sterilization agents, up to 80% of the explants remained viable. The most effective sterilization method involved sequential treatments as follows:

Immersion in 25% sterilizing soap solution for 20–30 minutes, followed by thorough rinsing with distilled water.

Treatment with 0.01% fungicide solution containing propiconazole ($20 \times 10^{-4}\%$), followed by 2–3 washes with distilled water.

Immersion in 2% Belizna (sodium hypochlorite) solution for 15 minutes, followed by three washes with distilled water.

Treatment with 70% ethanol for 30 seconds, followed by three final washes with autoclaved sterilized water.

Optimal Nutrient Media for In Vitro Micropropagation:

For the development of mature plants of *P. trifoliata* L., the Woody Plant Medium (WPM) was selected.

The medium was supplemented with indole-3-butyric acid (IBA), 1-naphthaleneacetic acid (NAA), and 6-benzylaminopurine (BAP) to promote optimal growth and development.

This optimized protocol enhances the viability of explants and supports efficient *in vitro* micropropagation for conservation and mass propagation efforts.

Conclusions. This research was conducted within the framework of the state program of the Biotechnology Laboratory of the Tashkent Botanical Garden of the Institute of Botany of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan: “Development of Scientific Foundations for the Sustainable Propagation of Valuable Specimens of the Botanical Garden in *In Vitro* Culture” (2023–2024) and within the framework of the state program “Establishment and Digital Documentation of the *In Vitro* Collection of the Tashkent Botanical Garden Using Innovative Biotechnology Methods”, scheduled for implementation from 2025 to 2029.

References

1. Ahmed A.A., Khattab A.M., Grace M.H., Sahl M.M. A new eudesmanolide from *Crataegus flava* fruits, *Fitoterapia*, Volume 72, Issue 7, 2001, 756-759.
2. Butenko R.G. Isolated tissue culture and physiology of morphogenesis of plants. 1964. – 272 p.
3. Chu CC, Wang CC, Sun CC, Hsu C, Yin KC, Chu, CY, Bi F-Yu. (1975) Establishment of an efficient medium for another culture of rice through comparative experiments on the nitrogen sources. *Scientia Sinica*. 18(5):659-668 doi.org/10.1360/ya1975-18-5-659

4. Chu CC. (1978) The N6 medium and its application to anther culture of cereal crops. Proceedings of Symposium on Plant Tissue Culture. 25-30.05. Science Press: Peking. P. 45-50
5. Driver JA, Kuniyuki AH. (1984) *In vitro* propagation of *Paradox walnut* rootstock. Hort Sci 19(4):507-509 doi.org/10.21273/HORTSCI.19.4.507
6. Gamborg OL, Eveleigh DE. (1968) Culture methods and detection of glucanases in cultures of wheat and barley. Canad J Bioch. 46:417-421 doi.org/10.1139/o68-063
7. Kalinin F.L. Methods of tissue culture in physiology and biochemistry of plants / F.L. Kalinin, V.V. Sarnatskaya, V.E. Polyshuk. – Kiev: Naukova dumka, 1980. – 320 p.
8. Lloyd G, McCown BH. (1980) Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot-tip culture. Int Plant Propag Soc Proceed. 30:421-427
9. McGranahan GH, Driver JA, Tulecke W. (1987) Tissue culture of *Juglans*. Cell and tissue culture in forestry: case histories: gymnosperms, angiosperms and palms. Dordrecht: Springer Netherlands: 261-271. <https://www.cbd.int/doc/publications/pc-brochure-en>
10. Murashige I, Skoog F. (1962) A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Plant Phys. 15(3):473-497 doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРОБЛЕМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОСВІТИ, ВИХОВАННЯ ТА МЕТОДИКИ НАВЧАННЯ ПРИРОДНИЧИХ ДИСЦИПЛІН

CONCEPT OF DEVELOPMENT OF NATURAL EDUCATION IN THE CONDITIONS OF NEURAL NETWORK ITERATIONS

Yana Prystupa¹, Iryna Petrenchuk¹

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

Abstract. Modern education is undergoing transformation due to digitalization and integration of new technologies, one of the key factors is the development of artificial intelligence (AI) and neural networks, which are actively introduced into the educational process. This is especially true of natural sciences, where large volumes of data are analyzed, modeling and forecasting play a critical role.

Information technologies, in particular artificial intelligence (AI) and neural networks, play a key role in the transformation of natural education. The article considers the concept of iterative development of neural networks and their impact on the methods of teaching the discipline of the natural cycle. Also, the possibilities of applying AI in biology, physics, chemistry, geography, ecology, agricultural sciences and medicine are analyzed.

The impact of AI on natural education is significant and the result is transformative. Due to adaptability, the possibilities of automation and individualization of learning, AI opens up new opportunities for improving the quality of education. However, at the same time, important ethical issues related to the use of AI are involved, in particular, in the context of privacy and preserving the role of the teacher. Further development of AI in education requires a thoughtful approach to maintain a balance between technological achievements and human values, which are the basis of the educational process.

Key words: education, natural sciences, iteration, neural networks, artificial intelligence.

Introduction. Important in the study of artificial intelligence and its impact on science are successful foreign scientists such as Geoffrey Hinton, one of the pioneers in the field of deep learning and neural networks, who developed the error backpropagation algorithm used in training neural networks; Yann LeCun, one of the creators of convolutional neural networks, who is actively working in scientific research, including the analysis of biological images and the prediction of climate change; Yoshua Bengio, a leading researcher in scientific intelligence, who is engaged in the development of deep learning methods used in the natural sciences; Demis Hassabis, co-founder of DeepMind, developer of AlphaFold, a revolutionary model that provides the structure of proteins, contributing to the development of biology and medicine; Max Tegmark, a physicist and AI researcher who analyzes the impact of artificial intelligence on science and education.

In general, neural networks significantly expand the capabilities of natural education, making it more interactive, effective and innovative. The introduction of modern technologies in the training of a new generation of scientists capable of working in the conditions of digital transformation and global challenges of the 21st century.

Natural education, as is known, encompasses disciplines that study natural phenomena, in particular physics, chemistry, biology, geography, ecology and astronomy, the main task

of this field is to form ideas about the regularity of the environment, the development of analytical thinking and a scientific worldview.

Purpose: to substantiate the concept of the development of natural education in the conditions of iterations of neural networks, to explore the possibilities of integrating modern artificial intelligence (AI) programs into the educational process and to apply their influence on the formation of natural competencies of pupils and students.

Materials and methods: The methodological basis of the work is the generalization and analysis of known scientific results regarding the influence of Shi on the formation of modern natural science education using a systemic approach. To form a scientific problem, determine the goal and set the objectives of the study, an analytical method and comparative analysis were used. It should be noted that the research methodology is based on the following concepts: constructivism: learning is considered as a process of active construction of knowledge through interaction with digital technologies; iterative approach: constant improvement of educational materials and methods based on the results of their implementation; digital pedagogy: integration of innovative educational technologies for the formation of critical thinking, creative approach and independent learning of knowledge.

Results: Natural sciences are the basis for the development of high technologies, medicine, ecology, energy and agricultural sectors. They contribute to critical thinking, the ability to work with data and predict future changes. In the face of global challenges such as climate change and environmental pollution, science education plays a key role in preparing responsible citizens. Neural networks are changing approaches to learning, allowing for the personalization of the educational process.

Table 1: **Main directions of implementation of neural networks in education**

№, s/n	Direction	Features of implementation
1.	Adaptive learning	creation of individual learning routes depending on the student's abilities and needs.
2.	Intelligent educational platforms	interactive environments that help students master complex concepts through interaction with digital models.
3.	Automatic assessment of knowledge	using AI to analyze answers and determine the level of preparation.
4.	Modeling of scientific processes	conducting virtual experiments and simulations.

Iteration of neural networks involves constant improvement of algorithms based on the received data. In the context of education, this means that learning platforms are becoming increasingly intelligent, adapting to changes in students' knowledge.

Modern neural networks and AI algorithms are actively changing approaches to teaching natural sciences. They allow for process modeling, analysis of large data sets, and creation of adaptive educational environments [2].

When studying genetics and bioinformatics, neural networks are used to analyze genetic information, predict mutations, and decipher complex relationships between genes, thereby enabling students to analyze DNA and identify potential genetic abnormalities, use bioinformatics algorithms to identify connections between hereditary diseases and genetic mutations, and create personalized medical recommendations based on genetic data.

In the conditions in which Ukraine finds itself, ecological research and the study of the impact of these changes on biodiversity are becoming quite important. In turn, neural networks help predict climate change based on the analysis of satellite data, assess the risks of species extinction by analyzing population trends, and optimize measures to preserve biodiversity.

Pharmacology and biochemistry are fundamental sciences that study chemical and biological processes in living organisms. They are of great importance for medicine, biotechnology, agricultural sciences, and the pharmaceutical industry. Modern research in these fields actively uses methods of neural network analysis, which allows to improve the efficiency of scientific discoveries and optimize the processes of drug development. In these fields, neural networks allow to identify new drugs using simulations of chemical reactions, predict the effectiveness of drugs by modeling their action at the cellular level, analyze the interactions of molecules, and create new biologically active compounds [4].

Table 2: Application of neural networks in individual branches of natural science education

№, s/n	Branch of natural sciences	Possibilities of application of neural networks
1.	Chemistry	use of neural networks to predict possible outcomes of chemical reactions; optimization of synthesis of new substances, in particular medicines; automation of the process of analysis of complex chemical compounds.
2.	Geography and geology	creation of dynamic maps from satellite images; forecasting of landscape changes under the influence of natural and man-made factors; automated recognition of geological structures from satellite images; identification of regularities in the occurrence of earthquakes and tsunamis, modeling of the impact of natural disasters on infrastructure and the environment.
3.	Hydrology and meteorology	analysis of climate change based on long-term data; forecasting of floods and other natural disasters, optimization of water resources through the analysis of hydrological processes.
4.	Ecology and agricultural sciences	forecasting of greenhouse gas emissions; modeling of ecological systems and assessment of the impact of human activity on the biosphere; automation of monitoring the condition of forests, water bodies and other natural resources; optimization of farming methods using predictive models; analysis of soil condition and recommendations for fertilizer application; use of drones with AI to monitor yields and crop condition.

Physics and astronomy as branches of natural sciences are very important for the formation of a holistic scientific picture of the world. They have common methodological

foundations and widely use mathematical modeling, experimental research, and modern computing technologies, including neural networks. After analyzing recent research, we can note that the development of neural networks has significantly simplified the analysis of physical processes, in particular, modeling quantum effects and predicting the behavior of particles in complex physical systems, visualizing gravitational waves and predicting their impact on space objects, and has helped and made possible the automated analysis of experimental data used in physical research, the detection of exoplanets based on the analysis of changes in the brightness of stars, etc. Some areas of application of neural networks in natural cycle research are presented in the table [5].

Let's take a look at the main services using artificial intelligence to improve the acquisition of natural science competencies when studying the disciplines of the natural cycle.

AI services create interactive virtual laboratories where students can experiment without the need for physical materials or laboratory equipment. For example, platforms like Labster and PhET Interactive Simulations allow you to simulate chemical reactions, biological processes, and physical phenomena in a safe environment. Such simulations also allow you to recreate conditions that are difficult to create in real laboratories, for example, research in the field of genetics or astrophysics [1].

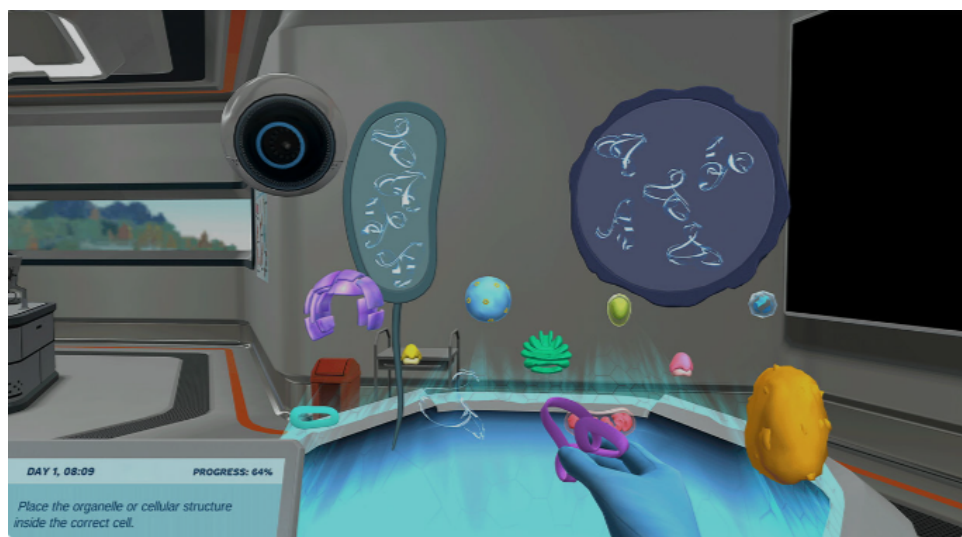


Figure 1: **Fragment of using the Labster platform**

AI services are able to adjust educational materials according to the needs and level of knowledge of the student. Platforms such as CenturyTech and Smart Sparrow analyze the student's progress and offer tasks according to his successes and weaknesses. This helps students learn the material at their own pace and makes learning more flexible and individual [3].

For the study of biology, ecology and other sciences, AI is able to analyze images with high accuracy, which is extremely useful in the study of wildlife. For example, PlantNet is an application that recognizes plant species from photographs, which is especially useful for botany and ecology. AI systems can analyze microscopic images, which helps students study cell structure, viruses and bacteria, contributing to a deeper understanding of the material [7].

Voice assistants like Google Assistant, Alexa, or specialized learning bots like Socratic can answer students' questions, explain concepts, and provide additional materials. This allows you to get answers to your questions quickly and make the most of your learning time. Copilot is an artificial intelligence tool powered by GPT-4, developed by Microsoft

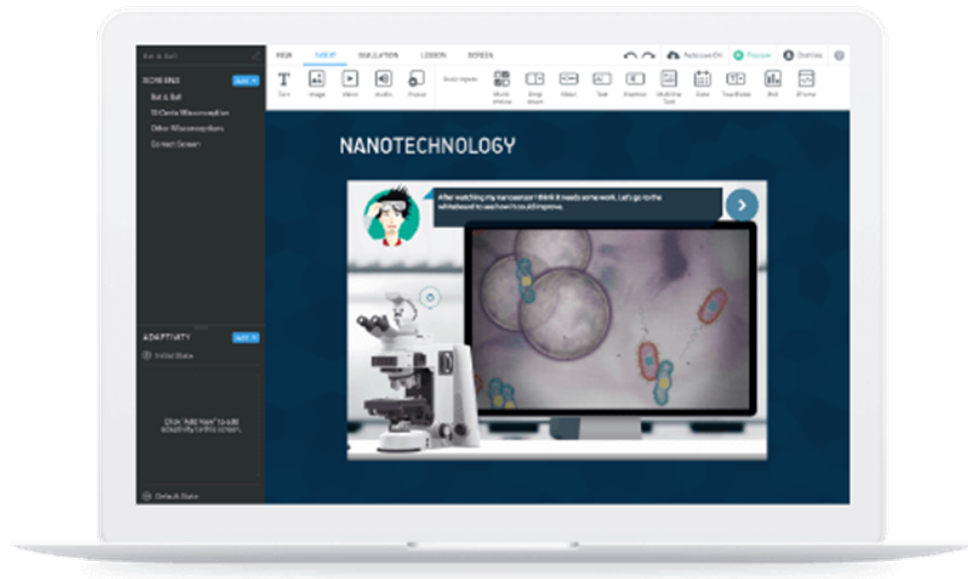


Figure 2: Fragment of the use of the Smart Sparrow platform

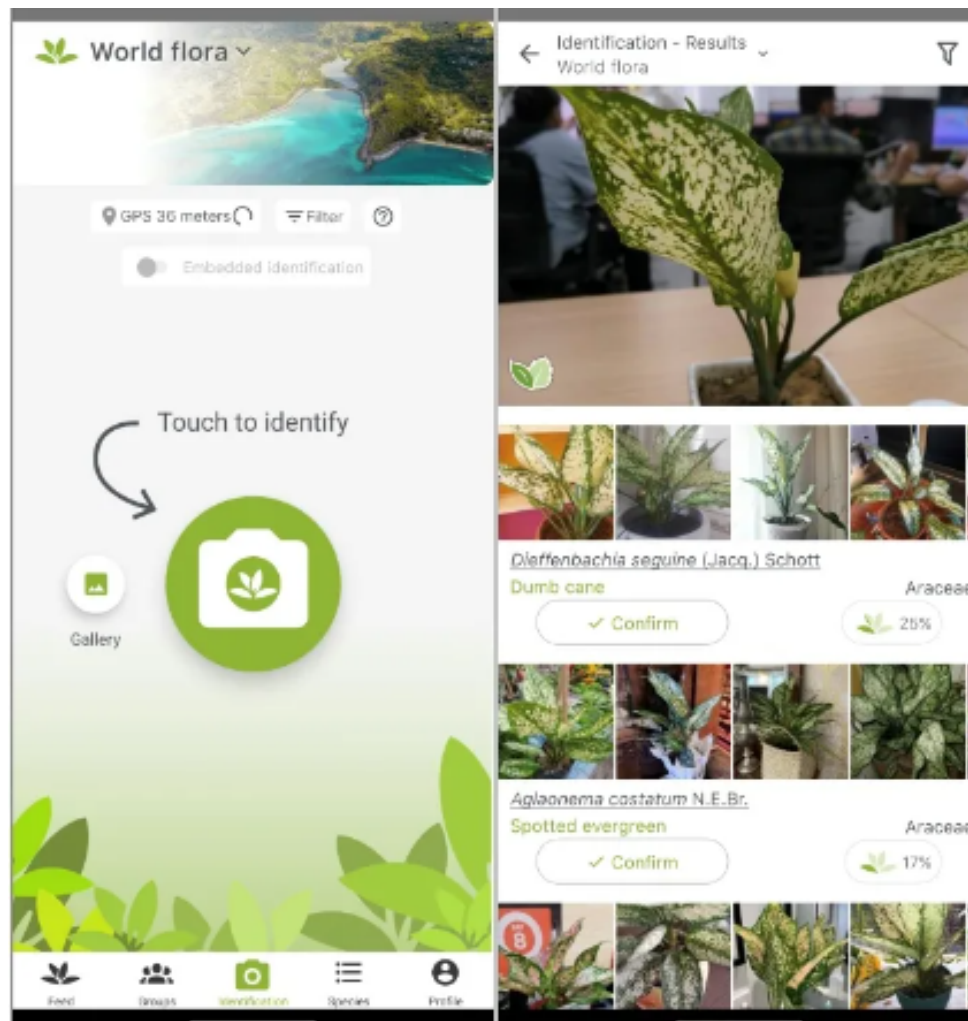


Figure 3: Fragment of using the PlantNet

in collaboration with OpenAI for Windows 10 and 11, Microsoft 365, and the Microsoft Edge web browser. Copilot on Windows uses your data to help it formulate relevant

answers to your queries. For example, this data could be the words you type or speak when interacting with Copilot on Windows, or it could be the page you view in Microsoft Edge [6].

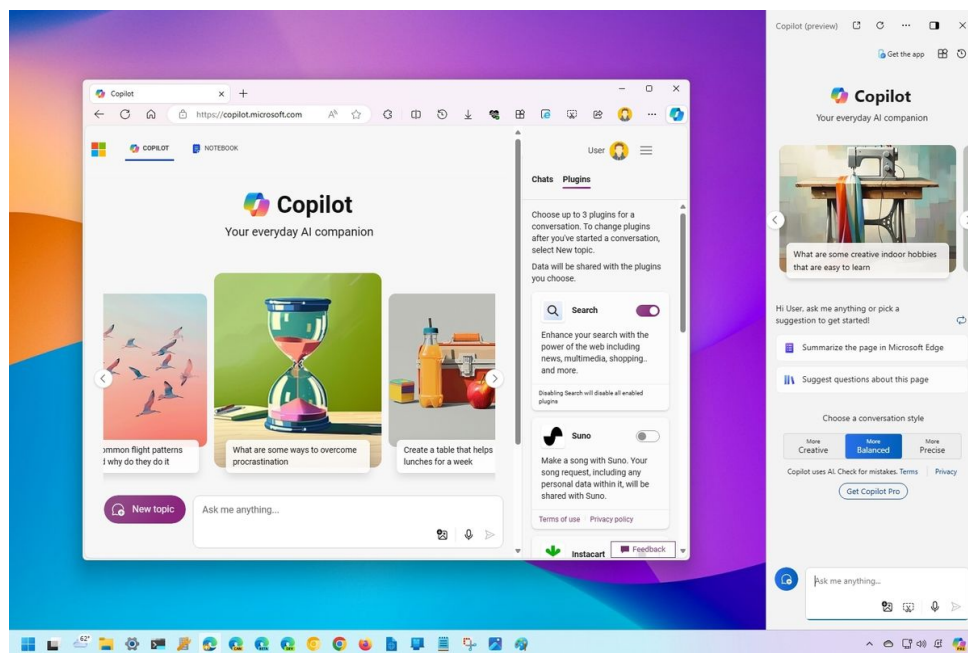


Figure 4: Copilot interface

Perplexity is an artificial intelligence search engine and assistant. It is a conversational search engine, like an “answer system”, that responds to queries using intelligent text in natural language. Launched in 2022, Perplexity generates answers using sources from the Internet and cites links in the text response.

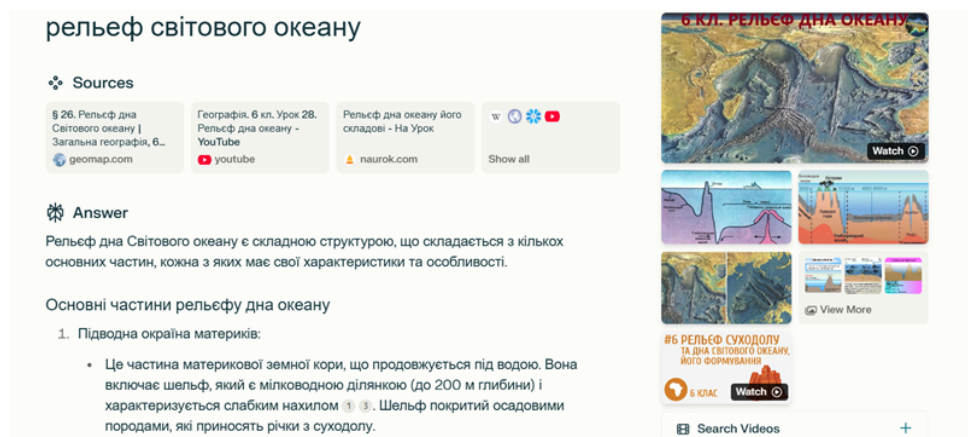


Figure 5: Perplexity program interface

Conclusions: the introduction of neural networks into science education allows us to significantly improve the educational process, making it more interactive, personalized and effective, opening up new horizons. The use of artificial intelligence in the study of science disciplines allows us to analyze large data sets, predict natural phenomena, automate research and model complex processes. Thanks to this, students get the opportunity to work with the most modern technologies and acquire the skills necessary for successful scientific and professional activity in the 21st century.

References

1. Balyk N., Shmyhar G. (2023) Introduction of artificial intelligence into education through the use of Chat GPT. Current aspects of the development of STEAM education in the context of European integration: collection of materials of the International Scientific and Practical Internet Conference (Kropyvnytskyi, April 21, 2023). Kropyvnytskyi, 2023. P. 147–149. URL: http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/28824/1/Baluk_tczy_stem.pdf.
2. Use of artificial intelligence in education / I. M. Viznyuk et al. Modern information technologies and innovative teaching methods for training specialists: methodology, theory, experience, problems. 2021. No. 59. P. 14–22. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-59-14-22>.
3. Vlasyuk O. P., Stepanenko O. K., & Prykhodkina N. O. (2023). The impact of artificial intelligence and information technologies on mobile education and learning of the future. Academic visions. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/789>
4. Zasanska G. M., Dumas I. R. (2023) Innovative forms, methods and technologies of teaching. Modern research in world science: proceedings of the 11th International scientific and practical conference (Lviv, January 29–31, 2023). Lviv, 2023. P. 660–667. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/41615/1/MODERN-RESEARCH-IN-WORLDSOURCE-29-31.01.23.pdf#page=66>.
5. Zakharov A. V. (2023) Modern aspects of teacher training for innovative pedagogical activity in Ukraine. Resource-oriented learning in “3D”: accessibility, dialogue, dynamics: materials of the III International Scientific and Practical Internet Conference (Poltava, February 22–23, 2023). Poltava, 2023. P. 125–132. URL: <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/12841>
6. Klymenko B. V. (2023) Possibilities of mobile learning in higher education. Psychological and pedagogical problems of higher and secondary education in the context of modern challenges: theory and practice: materials of the VI International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, March 16–18, 2023). P. 216–217. URL: <https://dspace.hnpu.edu.ua/bitstreams/4bdded7f-ca2e-4a2e-adab0ef25a1f74ce/download>.
7. Prystupa Ya. (2024) Educational impact of artificial intelligence within the framework of the iteration of natural science education. *Materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference “Theoretical and methodological principles of continuity in the educational process of preschool and primary education”* (Mykolaiv, November 12, 2024). Mykolaiv, 2024. P. 25.

ISSN 2664–505X (print)
ISSN 2664–5068 (online)

Екологічний вісник Криворіжжя: зб. наук. і наук.-метод. праць. / гол. ред. Е. О. Євтушенко. Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2025.
Вип. 5. 80 с.

Наукове видання

ЕКОЛОГІЧНИЙ ВІСНИК КРИВОРІЖЖЯ

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ
І НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ ПРАЦЬ**

Випуск 9

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

Підписано до друку 19.12.2024.
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. 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. Університетський, 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>